



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA
ENGENHARIA DE AQUICULTURA

SUHELLEN SANTOS BARCELOS

**APLICAÇÃO DE LEITOS DE SECAGEM NO TRATAMENTO DO EFLUENTE DO
CULTIVO DE *Litopenaeus vannamei* EM BIOFLOCO**

FLORIANÓPOLIS
2016

SUHELLEN SANTOS BARCELOS

**APLICAÇÃO DE LEITOS DE SECAGEM NO TRATAMENTO DO EFLUENTE DO
CULTIVO DE *Litopenaeus vannamei* EM BIOFLOCO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia
de Aquicultura da Universidade
Federal de Santa Catarina como
requisito para obtenção do título de
Engenheira de Aquicultura

Orientadora: Prof^a. Katt Regina Lapa, Dr^a

FLORIANÓPOLIS

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Barcelos, Suhellen Santos
APLICAÇÃO DE LEITOS DE SECAGEM NO TRATAMENTO DO
EFLUENTE DO CULTIVO DE *Litopenaeus vannamei* EM BIOFLOCO /
Suhellen Santos Barcelos ; orientadora, Katt Regina Lapa
Florianópolis, SC, 2016.
48 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agrárias. Graduação em Engenharia de Aquicultura.

Inclui referências

1. Engenharia de Aquicultura. 2. Carcinicultura
marinha. 3. Bioflocos. 4. Desaguamento de lodo. 5. Leito
de secagem. I. Lapa, Katt Regina. II. Universidade Federal
de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Aquicultura.
III. Título.

SUHELLEN SANTOS BARCELOS

APLICAÇÃO DE LEITOS DE SECAGEM NO TRATAMENTO DO EFLUENTE DO
CULTIVO DE *Litopenaeus vannamei* EM BIOFLOCO

Esta Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso foi julgada aprovada e
adequada para obtenção do Grau de Engenheira de Aquicultura

Florianópolis, 11 de julho de 2016

Profª Anita Rademaker Valença, Drª
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Profª Katt Regina Lapa, Drª
Orientadora

Luis Hamilton Pospissil Garbossa, Drº
Membro

Carlos Manoel do Espírito Santo, Meº
Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, pois sem ele nada disso seria possível; pois foi ele quem me proporcionou essa família e amigos tão importantes em minha vida, e foi esse apoio, carinho e paciência que me auxiliaram chegar até aqui e me dão forças para continuar.

Aos meus pais, Jucinete e Edi, por todo carinho, amor, apoio, e incentivo dedicado a mim; por nunca medirem esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida, sempre me incentivando; e por serem meu maior exemplo de honestidade e sinceridade para com o próximo.

Ao meu irmão, Kelvin, pelo amor e paciência; e não poderia deixar de agradecer pelos baldes de lodo carregados nos finais de semana.

Ao meu noivo, David, por todo amor e carinho e por sempre me incentivar a seguir em frente.

Aos meus avós paternos, por todo amor e carinho.

Aos meus avós maternos Eurides e Amâncio (*in memoriam*), pois tenho certeza que estejam onde estiverem estão olhando por toda nossa família e devem estar muito orgulhosos.

À toda a minha família e amigos.

À minha orientadora, prof. Dra. Katt Regina Lapa, por acreditar em mim; por horas e horas de conversas, onde partilhamos conhecimentos e experiências. Gostaria de expressar o meu reconhecimento e admiração pela sua competência profissional e agradecer pela sua amizade.

Ao Alysson, por todos os baldes de brita carregados, fazendo sol ou chuva.

À família LCM.

À lasmin e a Karinne pela companhia e amizade durante estes 5 anos de CCA e por quantos mais a vida nos proporcionar “aqui fora”; obrigada por tornarem a rotina de aulas e provas mais alegres e produtivas.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram com o meu crescimento, pessoal e profissional, muito obrigada!

RESUMO

A tecnologia de cultivo de biofoco foi desenvolvida para intensificar a produção de camarões, além de controlar o acúmulo de compostos nitrogenados excretado pelos animais. Ao longo do período de cultivo ocorre um acúmulo de sólidos em suspensão que necessitam ser retirados quando em excesso. Para esse fim se utilizam decantadores, porém o lodo gerado necessita de tratamento. Uma possibilidade é a utilização de leitos de secagem. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi construir e operar leitos de secagem estudando 3 diferentes cargas de lodo; construídos com tambores plásticos e preenchidos com os seguintes materiais: 15 cm de brita nº 4; 20 cm de brita nº 3 e 4 misturadas; 10 cm de brita nº 1 e 2, misturadas; 7,5 cm de areia fina; 5 cm de área grossa; e tijolos cortados em cubos de 6,5x5x5 cm. O tratamento 1 (T100) consistiu em aplicar uma camada de 10 cm, o T200 utilizou 20 cm e o T300 com 30 cm de altura de lodo, equivalente a 100, 200 e 300 L.m⁻².d⁻¹. Como forma de determinar a eficiência do processo, foram avaliadas as concentrações de amônia total (N-NAT), nitrito (N-NO₂⁻), nitrato (N-NO₃⁻), fósforo total (PO₄-P), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH, salinidade, alcalinidade, turbidez, série de sólidos, altura e umidade da torta de lodo. O tratamento T100 foi o que apresentou os menores valores para quase todos os parâmetros analisados quando comparado com T200 e T300. Mas ainda assim em relação à umidade e ao tempo de desidratação todos os tratamentos obtiveram resultados inferiores aos obtidos para desaguamento de lodo provenientes de estações de tratamento de efluentes e estações de tratamento de águas. para as três razões aplicadas, a máxima eficiência de desidratação foi obtida em 3 (três) dias com teor de umidade de 11,46±0,79%, salinidade média de 4,12±2,50 ppt para a torta de lodo e 24,30±5,03 ppt para o percolado.

Palavras-chave: Carcinicultura, camarão marinho, lodo, desidratação, desaguamento.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DESENHO ESQUEMÁTICO DE UM DECANTADOR	13
FIGURA 2 - DISPOSIÇÃO DAS CAMADAS FILTRANTES DE UM LEITO DE SECAGEM	15
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DO EXPERIMENTO	18
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL NAS DEPENDÊNCIAS DO LABORATÓRIO DE CAMARÕES MARINHOS	19
FIGURA 5 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	19
FIGURA 6- (A) ESCOLHA DA ÁREA, (B) LIMPEZA DA ÁREA, (C) CONSTRUÇÃO DO ALICERCE, (D) MONTAGEM DA ESTRUTURA SUPORTE, (E) IMPERMEABILIZAÇÃO DA ESTRUTURA, (F) INSTALAÇÃO DOS LEITOS.	23
FIGURA 7 - HOMOGENEIZAÇÃO DO LODO	24
FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO DO LODO NOS LEITOS DE SECAGEM	24
FIGURA 9 - PRECIPITAÇÃO MEDIDA NAS IMEDIAÇÕES DO EXPERIMENTO DE LEITOS DE SECAGEM NO PERÍODO DE ESTUDO	24
FIGURA 10 – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS (ST), SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST) E SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (SDT) DO LODO INICIAL	27
FIGURA 11 – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (SDT), SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS (SDV) E SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS (SDF) DO LODO INICIAL	28
FIGURA 12 – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS (ST), SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST) E SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (SDT) DOS PERCOLADOS NOS TRATAMENTOS T1,T2 E T3	28
FIGURA 13 - CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS (ST), SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST) E SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (SDT) DOS PERCOLADOS NOS TRATAMENTOS T1, T2 E T3	28
FIGURA 14- ALCALINIDADE E PH DO PERCOLADO - T1	29
FIGURA 15 - ALCALINIDADE E PH DO PERCOLADO - T2	30
FIGURA 16 - ALCALINIDADE E PH DO PERCOLADO - T3	30
FIGURA 17 - SALINIDADE DO PERCOLADO – T1	31
FIGURA 18 - SALINIDADE DO PERCOLADO – T2	31
FIGURA 19 - SALINIDADE DO PERCOLADO – T3	31
FIGURA 20 - CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA, NITRITO E NITRATO DO PERCOLADO - T1	33
FIGURA 21 - CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA, NITRITO E NITRATO DO PERCOLADO – T3	33
FIGURA 22 - CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA, NITRITO E NITRATO DO PERCOLADO - T2	33
FIGURA 23 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL DO PERCOLADO - T1	34
FIGURA 24 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL DO PERCOLADO - T2	34
FIGURA 25 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL DO PERCOLADO - T3	35
FIGURA 26 - TURBIDEZ DOS TRATAMENTOS T1, T2 E T3	35
FIGURA 28 - UMIDADE DA TORTA DE LODO DO TRATAMENTO T2 E PRECIPITAÇÃO	37
FIGURA 27 - UMIDADE DA TORTA DE LODO DO TRATAMENTO T1 E PRECIPITAÇÃO	37
FIGURA 29 - UMIDADE DA TORTA DE LODO DO TRATAMENTO T3 E PRECIPITAÇÃO	37
FIGURA 30 - (A) LODO INICIAL DO T100, (B) LODO FINAL DO T100, (C) LODO INICIAL DO T200, (D) LODO FINAL DO T200, (E) LODO INICIAL DO T300 E (F) LODO FINAL DO T300	38
FIGURA 31 - ALTURA DA TORTA DE LODO DO TRATAMENTO T1 E PRECIPITAÇÃO	39

FIGURA 32 - ALTURA DA TORTA DE LODO DO TRATAMENTO T2 E PRECIPITAÇÃO	40
FIGURA 33 - ALTURA DA TORTA DE LODO DO TRATAMENTO T3 E PRECIPITAÇÃO	40
FIGURA 34 - SALINIDADE E PH DA TORTA DE LODO DO TRATAMENTO T1	41
FIGURA 35 - SALINIDADE E PH DA TORTA DE LODO DO TRATAMENTO T2	41
FIGURA 36 - SALINIDADE E PH DA TORTA DE LODO DO TRATAMENTO T3	42
FIGURA 37 - CONCENTRAÇÃO DE DBO DOS TRATAMENTOS T1, T2 E T3	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PARÂMETROS ANALISADOS	22
TABELA 2 - CRONOGRAMA DO EXPERIMENTO	22
TABELA 3 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS ANALISADOS PARA O LODO INICIAL E PERCOLADO ESTABILIZADO	25
TABELA 4 - RESULTADO DOS PARÂMETROS ANALISADOS NA TORTA DE LODO	36

SUMÁRIO

1 Introdução	11
1.1 Hipótese da pesquisa	17
1.2 Objetivo.....	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
2 Material e métodos.....	18
2.1 Localização do experimento.....	18
2.2 Delineamento experimental.....	19
2.3 Coleta e armazenamento do lodo	20
2.4 Tratamentos	20
2.5 Variáveis analisadas	21
2.6 Operação do sistema	22
3 Resultados e discussão.....	24
3.1 Precipitação.....	24
3.2 Resultados dos parâmetros físicos e químicos analisados para o percolado.....	25
3.2.1 Série de sólidos do percolado	26
3.2.2 Alcalinidade e ph do percolado	29
3.2.3 Salinidade do percolado	30
3.2.4 Amônia total, nitrito e nitrato do percolado	31
3.2.5 Fósforo total do percolado.....	33
3.2.6 Turbidez.....	35
3.3 Resultados da torta de lodo.....	35
3.3.1 Umidade da torta de lodo	36
3.3.2 Redução da altura da torta de lodo	39
3.3.3 Salinidade e ph da torta de lodo.....	40
3.3.4 DBO_5^{20}	42

4 Considerações finais	42
5 Conclusões.....	44
Referências bibliográficas	46

1 INTRODUÇÃO

Segundo a FAO (2014), a produção mundial de crustáceos, no qual se enquadra o cultivo de camarões, representa 9,7% (6.446.818 t) da produção mundial proveniente da aquicultura. Destes 9,7% apenas 1,1% diz respeito à produção brasileira (74.415 t), o que atribui ao nosso país à colocação em 7º lugar na produção mundial de crustáceos. Segundo dados apresentados pelo SEBRAE (2015), a carcinicultura representa aproximadamente 13% da produção aquícola nacional. A região Nordeste do Brasil destaca-se como a maior produtora aquícola com 29% da produção nacional, em virtude, principalmente, da presença de carcinicultura, atividade não encontrada com expressão nas outras regiões (SEBRAE, 2015). De acordo com dados apresentados por Santos e Costa (2016), Santa Catarina detém apenas 227,5 t da produção nacional, sendo São Francisco do Sul o município com maior produção do estado (184,5 t).

Com todas estas informações fica evidente que a produção de camarões ainda tem muito que evoluir, principalmente no Brasil, porém deve-se atentar para o uso de tecnologias que visem o aumento da produtividade e a sustentabilidade, a fim de gerar o menor impacto possível ao meio ambiente e aumentar a lucratividade dos cultivos de camarões, além do desenvolvimento de técnicas para tratar o efluente gerado por esta atividade.

Segundo Project (2010), o cultivo de camarões começou na década de 1930, com os primeiros registros de instalações de fazendas de cultivo no Japão, a partir de então a produção começou a crescer cada vez mais. Porém este crescimento se deu de forma desordenada e sem muita preocupação com a sustentabilidade, o que acabou resultando no surgimento de enfermidades nos tanques de cultivos. Entre os anos de 2004 e 2005 o vírus da mancha branca começou a dizimar as fazendas de cultivo de camarão em Santa Catarina, e desde então vem-se estudando novas tecnologias a fim de promover um cultivo mais sustentável e biosseguro. A partir de então a comunidade científica vem buscando novas tecnologias que preconizam menor consumo de água com baixas taxas de renovação da mesma, a fim de minimizar a entrada de patógenos nos cultivos. Entre as novas tecnologias de cultivo que estão sendo desenvolvidas em nível mundial destaca-se o cultivo de camarões em sistema de bioflocos “BFT”.

Segundo Emerenciano et al., (2012) o primeiro registro da tecnologia BFT se deu em 1970, desenvolvido pelo Instituto Francês para a Exploração do Mar (Ifremer – COP), com diferentes espécies de peneídeos. Esta tecnologia está sendo utilizada a nível mundial tanto para cultivo de camarões quanto para a piscicultura. Dentre as vantagens desta tecnologia podemos destacar a biosseguridade, manutenção dos parâmetros de qualidade de água e redução na quantidade de ração ofertada e de seus níveis de proteína bruta, uma vez que os animais cultivados também se alimentam destes flocos microbianos, além de utilizar áreas menores. Segundo Poersch et al., (2013), a adoção do sistema BFT acarreta na elevação dos custos de instalação e operação, contudo este sistema permite um aumento da produtividade, devido às altas taxas de densidade de camarões por área, na ordem de cinco vezes, se comparado aos sistemas tradicionais. Este mesmo autor afirma que o sistema BFT tem uma produtividade de 14000 kg/ha, contra 2500 kg/ha do sistema tradicional, o qual utiliza uma densidade de 20-30 camarões/m², já a tecnologia BFT utiliza entre 120 e 600 camarões/m². Enquanto o sistema tradicional de cultivo conta com uma sobrevivência de 60-70%, o sistema BFT pode chegar a 90-100% de sobrevivência dos camarões cultivados.

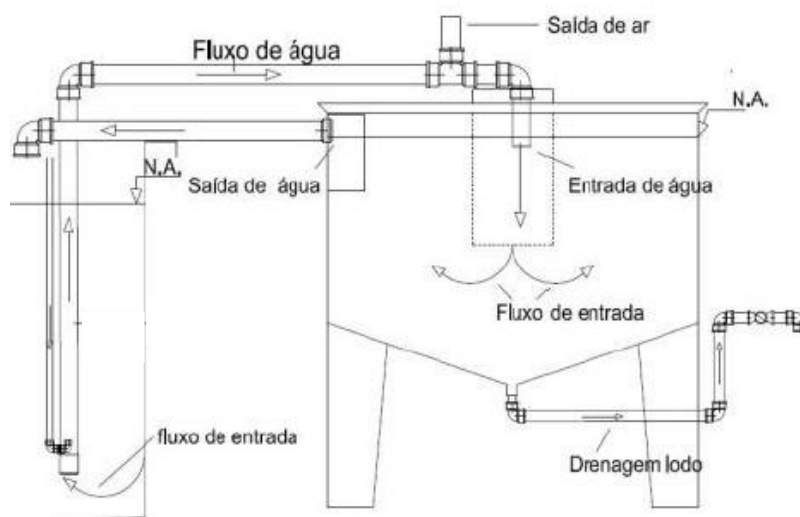
O sistema BFT preconiza o controle do acúmulo de compostos nitrogenados que podem ser tóxicos para os animais cultivados. As principais características desse sistema são alta densidade de estocagem, elevado aporte de matéria orgânica, alta taxa de aeração e pouca ou nenhuma renovação de água. Cultivos superintensivos estimulam a produtividade natural, fator que é muito importante na formação dos bioflocos, ou agregados microbianos como são também conhecidos. Esses agregados são partículas suspensas que em todas suas frações constituem os sólidos suspensos totais (SST), e que devem ser mantidos uniformemente distribuídos por toda a coluna d'água com uso de aeração.

Segundo Gaona et al. (2013), devido às altas taxas de produtividade natural resultarem em grandes quantidades de sólidos suspensos na coluna da água, em sistemas fechados acabam causando um acúmulo indesejável desses sólidos e eutrofizando o ambiente de cultivo. Esse acúmulo de sólidos pode provocar a obstrução das brânquias dos animais cultivados, comprometendo os índices de crescimento e sobrevivência. Schweitzer (2012), constatou que a remoção de sólidos promove melhores resultados no sistema BFT e, para isso, são necessárias intervenções para o controle das concentrações. Dentre estas intervenções,

destaca-se o processo de decantação, o qual utiliza a ação gravitacional para remover partículas sólidas em suspensão.

De acordo com Von Sperling (2014), os tanques de decantação podem ser circulares ou retangulares (Figura 1). Neles, o líquido flui vagarosamente permitindo que os sólidos em suspensão, possuindo uma densidade maior do que a do líquido circundante sedimentem gradualmente no fundo. Essa massa de sólidos é denominada lodo primário bruto; já o líquido clarificado retorna para o tanque. A sedimentação ocorre de maneira eficiente, podendo chegar a valores superiores a 85-90% de eficiência da retirada de sólidos da água, dependendo do fluxo e do tipo de decantador (HENDERSON e BROMAGE, 1988).

Figura 1 – Desenho esquemático de um decantador



Fonte- Adaptado de Arantes 2014

Segundo Arantes (2014), um tanque de cultivo de camarões em sistema de bioflocos, com volume útil de $43,5 \text{ m}^3$ gera em um ciclo de aproximadamente 78 dias entre $1044 \pm 153,8$ e $1620 \pm 144,2$ litros de lodo. Utilizando a menor taxa de geração de lodo e uma média de 3 ciclos de cultivo por ano teremos uma produção de aproximadamente $400 \text{ mL/m}^3/\text{d}$ que necessitam do correto tratamento, a fim de reduzir os impactos causados ao meio ambiente.

Essa massa de sólidos resultante do processo de decantação é uma grande fonte de poluição se não for tratada de maneira correta. Se a relação de sólidos fixos e voláteis do lodo ultrapassar 60%, o mesmo poderá após a retirada da parte líquida

em quase sua totalidade, depois de adensado e compacto, ser destinado para o reuso ou disposição final.

Segundo Uggetti et al. (2011), o objetivo da desidratação é diminuir o volume de lodo e consequentemente, os custos de eliminação e os riscos ambientais associados. Além disso, o desaguamento de lodo é necessário antes da compostagem, incineração ou disposição em aterro sanitário. Processos de tratamento de lodo precisam reduzir o volume de lodo e estabilizar a fração biodegradável de matéria orgânica (VINCENT et al. 2012).

Segundo Nielsen (2003), a desidratação do lodo é atingida por dois processos combinados: drenagem e evapotranspiração. No entanto, o depósito de lodo a ser desidratado depende de muitos fatores, incluindo a composição do lodo afluente e as propriedades hidráulicas do depósito de lodo (VINCENT et al., 2012).

Estabilização convencional de lodos e tecnologias de remoção de água (como por exemplo a digestão anaeróbia, seguido por centrifugação ou filtração) são dispendiosos e demandam energia, o que é problemático particularmente em pequenas instalações (UGGETTI et al., 2011). Entre os processos naturais de secagem de lodos destacam-se a utilização de leitos de secagem, lagoas de lodo e a disposição do lodo no solo. Parâmetros como temperatura, umidade do ar, ventilação e viscosidade do lodo, afetam o método de desidratação natural (CORDEIRO, 1999).

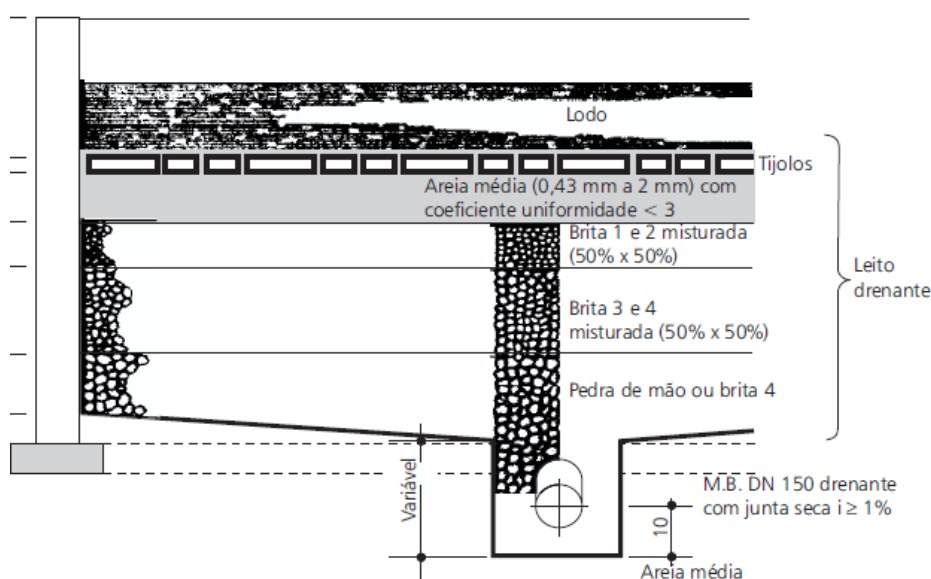
Os leitos de secagem são uma das técnicas mais antigas utilizadas na separação sólido-líquido do lodo, tendo um custo de implantação usualmente reduzido, se comparado com as opções mecânicas de desidratação (VON SPERLING, 2014).

Leito de secagem é uma tecnologia barata e sustentável, tendo como objetivo desidratar o lodo, diminuindo seu volume, a partir da utilização da energia solar. Sendo de extrema importância o estudo da diminuição do volume destes efluentes, facilitando o manejo dos dejetos.

Segundo Campos (1999), leitos de secagem são unidades que tem por objetivo desidratar, por meios naturais, o lodo digerido em digestores aeróbios ou anaeróbios. São operados em regime de batelada, sendo que a remoção do lodo seco, antes da aplicação de cada nova batelada, é necessária para o bom funcionamento do leito. A redução da umidade se dá através da drenagem e evaporação.

De acordo com Dodane e Ronteltap (2014), leitos de secagem de lodo são filtros rasos cheios de areia e cascalho, com um sub-dreno na parte inferior para recolher o percolado (Figura 2). O lodo é descarregado sobre a superfície para a desidratação. O processo de secagem é baseado na drenagem do líquido através da areia e cascalho para o fundo do leito e a evaporação de água a partir da superfície do lodo para o ar. O projeto, bem como a operação do leito de secagem é bastante simples, desde que a taxa de aplicação de lodo esteja bem dimensionado.

Figura 2 - Disposição das camadas filtrantes de um leito de secagem



Fonte - Adaptado de José Roberto Campos 1999

Segundo Von Sperling (2014), os leitos apresentam diversas vantagens, sendo algumas delas descritas a seguir:

- ✓ Baixo valor de investimento;
- ✓ Simplicidade operacional;
- ✓ Baixo ou inexistente consumo de energia elétrica;
- ✓ Baixo ou inexistente consumo de produto químico.

O funcionamento dos leitos de secagem é fundamentado em um processo natural de perda de umidade, que se desenvolve devido aos seguintes fenômenos (JORDÃO & PESSOA, 2005):

1. Liberação dos gases submetidos à pressão atmosférica nos leitos de secagem;

2. Liquefação, devido à diferença do peso específico aparente do lodo e da água, estabelecendo a flotação do lodo e rápida drenagem da água;
3. Evaporação natural da água devido ao contato íntimo com a atmosfera; e,
4. Evaporação devido ao poder calorífico do lodo.

Estas tecnologias de desidratação e de estabilização são caras e gastam energia; tratamento de lodos em leitos de secagem parece ser uma solução atraente (UGGETTI et al., 2011). Esta tecnologia é uma ótima opção para desidratação de lodo, principalmente quando se dispõe de área para construção dos leitos. De fato esta tecnologia reduz o volume de lodo para o armazenamento e transporte, enquanto bloqueia a fermentação e proporciona a estabilização do lodo (NIELSEN, 2003).

Estações de tratamento de águas – ETA's e estações de tratamento de efluentes – ETE's são as que mais utilizam esta tecnologia, pois é uma tecnologia relativamente barata. Contudo, este sistema de desaguamento de lodo demanda bastante área, o que às vezes torna inviável para algumas estações e/ou indústrias. Pois muitas vezes estas indústrias/estações estão implantadas em zonas urbanas, o que implica em um alto custo para implantação, tendo em vista o alto valor da terra nessas áreas. O que se torna um ponto negativo para as ETA's, ETE's e indústrias, acaba sendo um ponto positivo para a aquicultura, pois as fazendas de aquicultura, além de terem bastante áreas disponíveis, são afastadas da cidade, resultando em valor inferior ao fixado nas áreas urbanas, tornando esta tecnologia muito atraente. Contudo, o setor aquícola não utiliza muito esta tecnologia; as fazendas que realizam o tratamento deste lodo geralmente utilizam o processo de floculação/coagulação ou ainda o adensamento, a fim de reduzir o volume de lodo.

Tortas de lodo proveniente do desaguamento de efluentes de água doce usualmente são utilizadas como adubos agrícolas desde que respeitem os critérios para disposição no solo de acordo com a Resolução CONAMA nº 375/06. No entanto são raros os estudos em que utilizam a torta de lodo proveniente da aquicultura marinha, devido à presença do sal, o que poderia inviabilizar o uso do mesmo nas culturas agrícolas, assim, faz-se necessário estudos que avaliem esta eficiência.

Carvalho (2014), testou diferentes alturas de meio filtrante para leitos de secagem utilizados na desidratação do lodo proveniente do cultivo de *Litopenaeus*

vannamei em sistema de bioflocos, e segundo resultados apresentados os leitos se mostraram eficientes para este fim. No entanto, mais estudos se fazem necessários para avaliar as cargas de aplicação de lodo dos leitos e a qualidade de água do percolado, bem como da torta de lodo em relação aos parâmetros físicos e químicos, principalmente em relação à presença do sal na torta e no percolado.

Neste sentido, estudou-se esta tecnologia de desidratação de lodo para o lodo proveniente do cultivo superintensivos de camarões marinhos. A justificativa se dá pelo motivo de que os leitos de secagem são uma tecnologia barata e sustentável para o desaguamento de lodo, muito utilizada para o tratamento dos resíduos das estações de tratamento de água potável e esgotos domésticos e industriais. Porém, a literatura é muito escassa para este tipo de técnica no que diz respeito às atividades aquícolas.

1.1 HIPÓTESE DA PESQUISA

O lodo oriundo dos decantadores acoplados ao cultivo superintensivo de camarões com bioflocos pode ser desaguado em sistemas de leitos de secagem.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 **Objetivo geral**

Contribuir para o desenvolvimento da carcinicultura marinha avaliando a tecnologia leitos de secagem para desaguamento de lodo produzido no cultivo superintensivo de *Litopenaeus vannamei* com bioflocos.

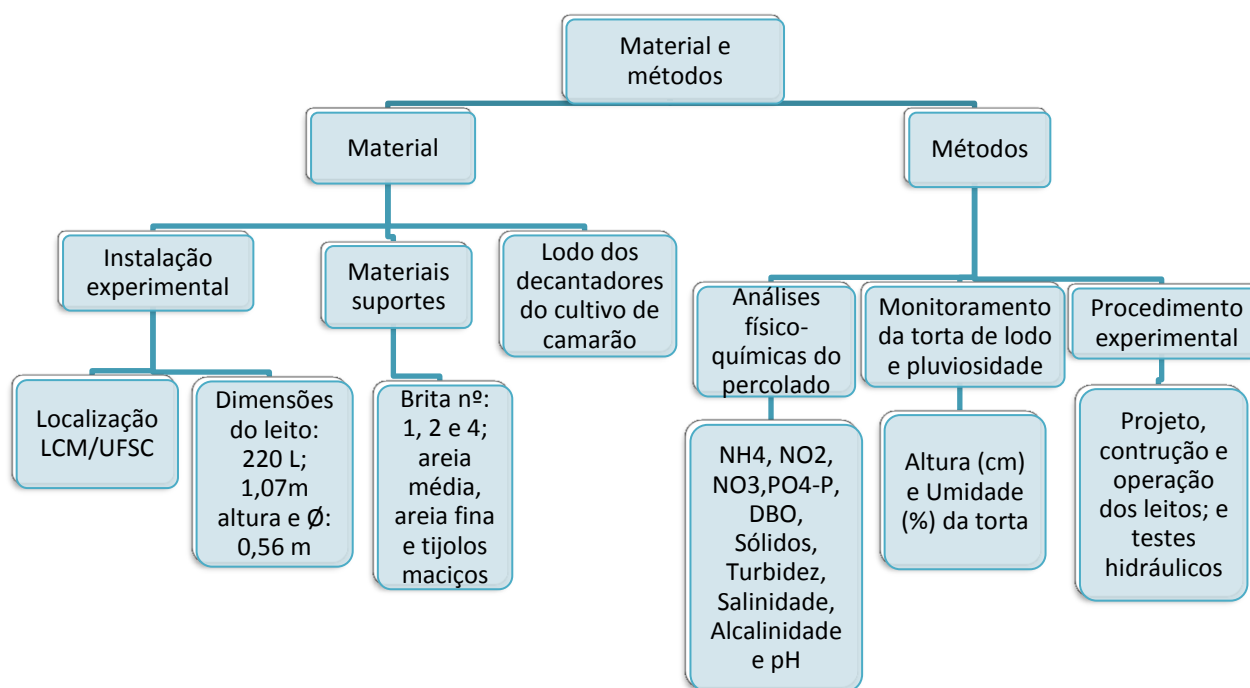
1.2.2 **Objetivos específicos**

- Projetar, executar e operar leitos de secagem, em escala piloto reduzida, sob 3 (três) taxas de aplicação de lodo;
- Analisar física e quimicamente a qualidade da água do percolado e da torta de lodo;
- Determinar a melhor eficiência de funcionamento dos leitos de secagem em relação ao teor de umidade, salinidade, matéria orgânica, sólidos e nutrientes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Serão apresentados a seguir as instalações experimentais utilizadas para realização deste estudo como a descrição dos materiais utilizados com detalhamento do projeto dos leitos de secagem, os métodos adotados para análise físicas e químicas das amostras de lodo e percolado e o procedimento experimental, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma do experimento



2.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado no Laboratório de Camarões Marinhos - LCM, pertencente ao Departamento de Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, localizado na Barra da Lagoa – Florianópolis/SC, durante os meses de novembro a dezembro de 2015 (Figura 4).

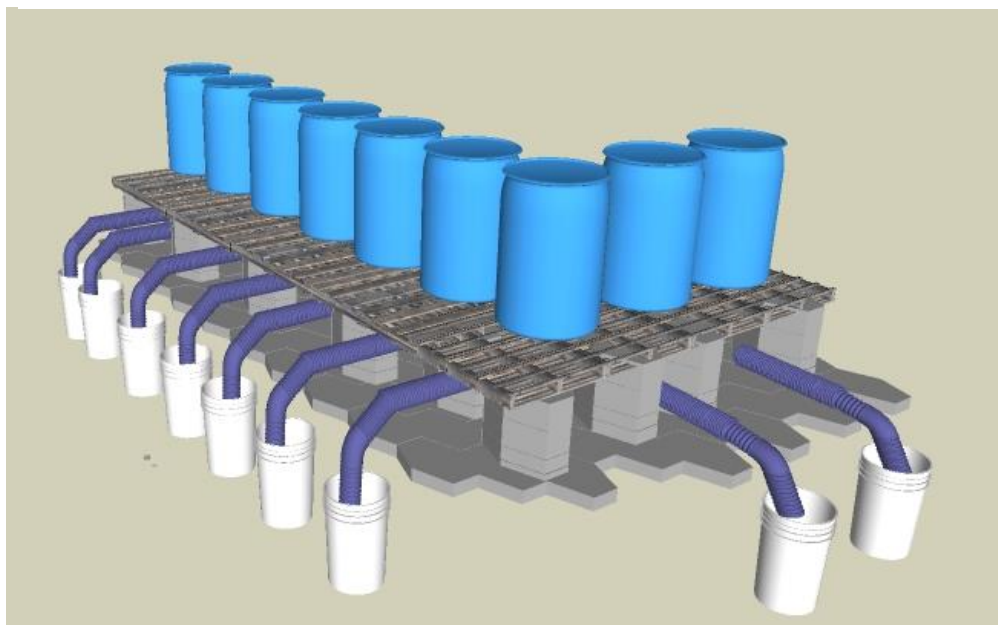
Figura 4 - Localização da instalação experimental nas dependências do Laboratório de Camarões Marinhos



2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento consistiu na elaboração do projeto, quantificação dos materiais e execução de nove leitos de secagem (Figura 5), no qual foi utilizado bombonas com capacidade de 220 L; 1,07 m de altura e 0,56 m de diâmetro expostos ao ar livre.

Figura 5 - Delineamento experimental



As bombonas foram equipadas com os seguintes materiais e suas respectivas espessuras: 15 cm de brita nº 4; 20 cm de brita nº 2; 10 cm de brita nº 1; 7,5 cm de areia média; 5 cm de areia fina e tijolos maciços cortados em cubos de 6,5 x 5 x 5 cm, dispostos em ordem ascendente (Figura 6). Abaixo de cada leito foi instalado um recipiente plástico graduado com o objetivo de coletar o percolado para análises dos parâmetros de qualidade de água (Figura 7). Todos os materiais utilizados para construção dos leitos foi baseado na norma brasileira para projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário - NBR 12209/1992.

Figura 6 - Disposição das camadas filtrantes

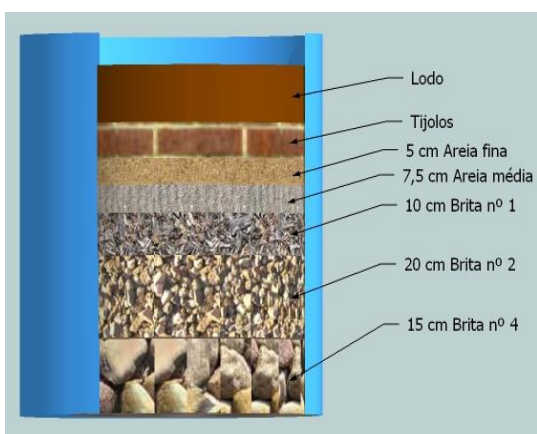


Figura 7 - Recipientes para coleta do percolado



2.3 COLETA E ARMAZENAMENTO DO LODO

Logo após a coleta do lodo dos decantadores acoplados aos tanques de cultivo de camarões, o mesmo foi congelado em freezer até atingir o volume desejado para início do experimento, que foi de aproximadamente 450 L. Assim que o volume foi obtido, o montante foi descongelado e homogeneizado, para garantir que todos os leitos recebessem lodo de características semelhantes. Após homogeneização, foi coletada uma amostra deste lodo bruto para determinar suas características físicas e químicas antes do tratamento de desaguamento e finalmente foram dispostos nos leitos para desidratação.

2.4 TRATAMENTOS

De acordo com Campos (1999), a camada inicial de lodo aplicada nos leitos pode variar de 30 a 60 cm. Com base nessa informação foram realizados três tratamentos (T100, T200 e T300), sendo um deles com o valor mínimo descrito pelo autor citado acima e outros dois tratamentos com valores inferiores, a fim de verificar se os leitos iriam se mostrar eficientes para camadas de aplicação menores. A carga

de lodo utilizada foi de 100, 200 e 300 L.m⁻².d⁻¹, as quais correspondem à 10, 20 e 30 cm de altura de lodo para cada tratamento denominado T100, T200 e T300, respectivamente. De acordo com os valores obtidos para SST foi possível calcular a carga de SST em cada tratamento sendo elas: T100 = 2,64; T200 = 5,29 e T300 = 7,94 Kg/m² de SST.

Todos os tratamentos respeitaram os valores impostos pela legislação vigente para descarga de lodo em leitos de secagem (NBR 12209/1992), a qual fixa um valor máximo de sólidos em suspensão total de 15 kg/m² de área de secagem por ciclo.

2.5 VARIÁVEIS ANALISADAS

Como forma de determinar a eficiência do processo, foram realizadas análises de amônia total (N-NAT), nitrito (N-NO₂⁻), nitrato (N-NO₃⁻), fósforo total (PO₄-P), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH, salinidade, alcalinidade, turbidez, série de sólidos, altura e umidade da torta de lodo. Estas análises foram feitas através de uma amostragem composta, onde as três repetições de cada tratamento foram homogeneizadas e analisadas como uma única amostra. As análises de DBO, salinidade e pH da torta de lodo foram diluídas na proporção de 1 (uma) parte de lodo para 5 (cinco) partes de água deionizada, de acordo com a metodologia descrita por Richards (1954).

Um pluviômetro modelo Tipping Bucket Rain Gauge/2-SDI-08, da marca Water Log com resolução de 0,2 mm foi instalado nas proximidades do experimento para quantificar o volume de água proveniente da chuva que possa ter interferido no processo de desidratação do lodo. A frequência e a metodologia utilizada estão descritas na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Parâmetros analisados

Análise	Percolado	Torta de lodo	Frequência semanal	Metodologia
N-NAT	X		2 x	Koroleff, 1976
N-NO ₂ ⁻	X		2 x	Bendschneider and Robinson, 1952
N-NO ₃ ⁻	X		2 x	Kit da Hach
PO ₄ -P	X		1 X	Kit da Merck
DBO ₅ ²⁰		X	1 x	DBO ₅ ²⁰
pH	X	X	2 x	pHmetro Alfakit AT 315
Salinidade	X	X	2 x	Salinômetro YSI ecosense EC300A
Alcalinidade	X		2 x	APHA 1998
Turbidez	X		2 x	Turbidímetro Alfakit E001365
Série de sólidos	X		2 x	APHA 1998 – D 5913
Altura da torta		X	7X	Medição com fita métrica
Teor de umidade		X	2 x	Gravimetria

2.6 OPERAÇÃO DO SISTEMA

Durante os meses de setembro a outubro realizamos o projeto e construção dos leitos (Figura 6). O sistema foi montado conforme descrito no item 1.2, com início no dia 13 de novembro de 2015 e término no dia 02 de dezembro de 2015, totalizando 20 dias de experimento. O cronograma do experimento está representado na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Cronograma do experimento

	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Projeto e execução da estrutura				
Testes de estabilização				
Coleta de lodo				
Início do experimento				
Fim do experimento				

Figura 6- (a) Escolha da área, (b) Limpeza da área, (c) Construção do alicerce, (d) Montagem da estrutura suporte, (e) Impermeabilização da estrutura, (f) Instalação dos leitos.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Testes hidráulicos foram realizados antes do início do experimento, a fim de verificar se a estrutura suportaria o peso exercido sobre ela e se ocorreriam vazamentos. Os mesmos consistiram em completar as bombonas com água doce para não interferir nos resultados de salinidade posteriormente, e esta água ficou dentro dos leitos por aproximadamente uma semana. Ao término desta semana, o sistema se mostrou apto para início do experimento. Então, no dia 12 de novembro de 2015, o lodo foi retirado do freezer para descongelar e no dia seguinte realizamos a homogeneização (Figura 7) e então a distribuição das cargas de lodo nos leitos de acordo com cada tratamento (Figura 8).

Figura 7 - Homogeneização do lodo



Figura 8 - Distribuição do lodo nos leitos de secagem

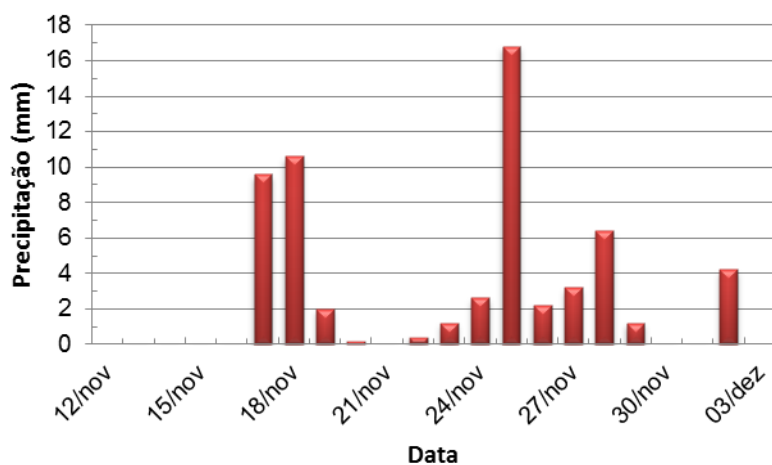


3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PRECIPITAÇÃO

Como pode ser observado, nos dias 13, 14, 15, 16, 21 e 30 de novembro e no dia 01 de dezembro não foi registrado chuva no local do experimento. O valor máximo de pluviosidade foi registrado no dia 25 de novembro, com valor de 16,8 mm. E no último dia de experimento houve chuva de 4,2 mm.

Figura 9 - Precipitação medida nas imediações do experimento de leitos de secagem no período de estudo



3.2 RESULTADOS DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS ANALISADOS PARA O PERCOLADO

Os valores descritos abaixo foram provenientes de uma amostragem composta conforme descrito no item 2.5. Para melhor visualizar os resultados do tratamento do lodo foi elaborada a Tabela 3 com os resultados do lodo inicial (antes do tratamento), chamado de L.I. e do percolado estabilizado, chamado de P.E. Os valores apresentados em P.E. foram calculados com a média dos valores obtidos a partir da estabilização da umidade da torta de lodo.

Tabela 3 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos analisados para o lodo inicial e percolado estabilizado

		Tratamento T1	Tratamento T2	Tratamento T3
ST (g/L)	LI	82,16 ± 4,64	82,16 ± 4,64	82,16 ± 4,64
	PE	29,44 ± 2,95	37,94 ± 2,52	39,50 ± 4,37
STV (g/L)	LI	28,98 ± 2,63	28,98 ± 2,63	28,98 ± 2,63
	PE	6,68 ± 2,18	6,83 ± 0,66	9,06 ± 3,25
STF (g/L)	LI	53,18 ± 2,04	53,18 ± 2,04	53,18 ± 2,04
	PE	22,76 ± 4,88	31,12 ± 1,90	30,44 ± 1,44
SST (g/L)	LI	26,49 ± 0,03	26,49 ± 0,03	26,49 ± 0,03
	PE	0,18 ± 0,05	0,24 ± 0,04	0,25 ± 0,04
SSV (g/L)	LI	14,49 ± 0,02	14,49 ± 0,02	14,49 ± 0,02
	PE	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,03	0,11 ± 0,02
SSF (g/L)	LI	12,00 ± 0,02	12,00 ± 0,02	12,00 ± 0,02
	PE	0,09 ± 0,04	0,16 ± 0,01	0,14 ± 0,02
SDT (g/L)	LI	55,67 ± 3,83	55,67 ± 3,83	55,67 ± 3,83
	PE	29,27 ± 2,91	36,97 ± 3,13	40,01 ± 3,91
SDV (g/L)	LI	14,49 ± 1,91	14,49 ± 1,91	14,49 ± 1,91
	PE	6,59 ± 2,20	9,47 ± 5,54	11,07 ± 5,01
SDF (g/L)	LI	41,18 ± 1,93	41,18 ± 1,93	41,18 ± 1,93
	PE	22,67 ± 4,84	27,50 ± 7,14	28,94 ± 2,98
Alcalinidade (mg/L)	LI	362,50 ± 17,68	362,50 ± 17,68	362,50 ± 17,68
	PE	227,50 ± 96,53	530,00 ± 99,40	703,33 ± 40,82
pH	LI	7,13 ± 0,10	7,13 ± 0,10	7,13 ± 0,10
	PE	7,57 ± 0,60	7,82 ± 0,06	7,77 ± 0,15
Salinidade (ppt)	LI	32,70 ± 0,20	32,70 ± 0,20	32,70 ± 0,20
	PE	24,30 ± 5,03	32,87 ± 1,72	32,43 ± 1,43
N-NAT (mg/L)	LI	0,20 ± 0,02	0,20 ± 0,02	0,20 ± 0,02
	PE	1,50 ± 2,18	1,40 ± 0,91	0,80 ± 0,08
N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	LI	0,30 ± 0,02	0,30 ± 0,02	0,30 ± 0,02
	PE	0,20 ± 0,23	0,03 ± 0,02	0,10 ± 0,04
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	LI	5,10 ± 1,47	5,10 ± 1,47	5,10 ± 1,47
	PE	1,67 ± 0,51	5,40 ± 5,15	10,18 ± 1,99
PO ₄ -P (mg/L)	LI	96,60 ± 3,00	96,60 ± 3,00	96,60 ± 3,00
	PE	0,49 ± 0,10	0,90 ± 0,05	2,33 ± 0,30
Turbidez (NTU)	LI	13490 ± 11	13490 ± 11	13490 ± 11
	PE	70 ± 30	99 ± 84	109 ± 41

Legenda: LI = Lodo inicial; PE = Percolado estabilizado

3.2.1 Série de sólidos do percolado

A concentração ST, STF e STV apresentou significativa redução para todos os tratamentos. O valor inicial era de $82,16 \pm 4,64$ g/L para ST, sendo que $28,98 \pm 2,63$ g/L eram de STV e $53,18 \pm 2,04$ g/L eram de STF, ou seja 35% continha matéria orgânica e 65% continha matéria inerte, também chamada de teor de cinzas. Após o tratamento de desidratação, estes valores foram reduzidos para $29,44 \pm 2,95$; $37,94 \pm 2,52$ e $39,50 \pm 4,37$ g/L de ST para T100, T200 e T300, respectivamente. Já para a matéria orgânica (STV), os valores médios para T100, T200 e T300 foram de $6,68 \pm 2,18$; $6,83 \pm 0,66$ e $9,06 \pm 3,25$ g/L, respectivamente. E a concentração média de STF foi de $22,76 \pm 4,88$; $31,12 \pm 1,90$ e $30,44 \pm 1,44$ g/L para T100, T200 e T300, respectivamente. O tratamento T100 foi o que apresentou menor valor para ST e STF, enquanto T200 e T300 foram superiores à T100 e bem semelhantes entre eles; em relação aos STV, o T100 e T200 foram bem semelhantes entre si e inferiores à T300. Esta significativa redução nos sólidos totais nos mostra que a função dos leitos de secagem como filtros para reter as partículas sólidas presentes no lodo foi muito bem executada. Além disso, de modo geral todos os tratamentos apresentaram eficiência na redução da concentração de sólidos totais, sejam eles fixos ou voláteis.

A concentração de SST, SSF e SSV apresentou significativa redução no percolado dos três tratamentos quando comparado ao lodo antes do desaguamento. A concentração inicial de SST era de $26,49 \pm 0,03$ g/L e foi reduzida para $0,18 \pm 0,05$; $0,24 \pm 0,04$ e $0,25 \pm 0,04$ g/L em T100, T200 e T300; antes da percolação a concentração média de SSV era de $14,49 \pm 0,02$ g/L, a mesma foi reduzida em T100, T200 e T300 para $0,09 \pm 0,01$; $0,08 \pm 0,03$; $0,11 \pm 0,02$ g/L. A concentração média de STF do lodo bruto era de $12,00 \pm 0,02$ g/L; a média dos resultados após a estabilidade foi de $0,09 \pm 0,01$; $0,16 \pm 0,01$ e $0,14 \pm 0,02$ g/L para T100, T200 e T300. Em relação aos sólidos suspensos houve significativa redução em ambos os tratamentos, porém nenhum tratamento diferiu dos demais, ou seja, tanto T100, T200 e T300 apresentaram valores bem semelhantes para SST, SSV e SSF. Stefanakis; Tsihrintzis (2012), ao testar o desempenho de leitos de secagem em escala piloto; e Koné et al. (2007), ao investigar a remoção de ovos de helmintos e eficiência de inativação utilizando a desidratação do lodo em leitos de secagem também identificaram significativa redução nas concentrações de SSV e SSF.

Os valores encontrados para SDT ($55,67 \pm 3,83$ g/L) e SDF ($41,18 \pm 1,93$ g/L) demonstraram que o tratamento resultou na redução desta concentração para as três cargas de lodo utilizadas. A concentração média de SDV ($14,49 \pm 1,91$ g/L) manteve seu valor bem próximo ao valor inicial para todos os tratamentos. O tratamento T100 foi o que apresentou menores concentrações de SDT, SDF e SDV ($29,27 \pm 2,91$; $22,67 \pm 4,84$ e $6,59 \pm 2,20$ g/L, respectivamente) o tratamento T200 e T300 apresentaram valores superiores à T100 e bem semelhantes entre eles. As concentrações de SDT, SDF e SDV para T200 foram as seguintes: $36,97 \pm 3,13$; $27,50 \pm 7,14$ e $9,47 \pm 5,54$ g/L; já os resultados obtidos para T300 foram estes: $40,01 \pm 3,91$; $28,94 \pm 2,98$ e $11,07 \pm 5,01$ g/L para SDT, SDF e SDV, respectivamente. As concentrações de sólidos dissolvidos presentes no percolado foram superiores as concentrações de sólidos suspensos; esta diferença provavelmente está relacionada com a presença do sal, uma vez que ele se encontra dissolvido na água.

As concentrações de STF, SSF e SDF tanto do lodo inicial quanto do percolado foram superiores aos valores encontrados para STV, SSV e SDV para todos os tratamentos; a maior concentração de material fixo do que volátil nos dá a informação de que tanto o lodo quanto o percolado possuem mais materiais inertes do que orgânicos. Na Figura 10, Figura 11, Figura 12 e Figura 13 serão representados os gráficos para facilitar a interpretação dos dados:

Figura 10 – Concentração de sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos dissolvidos totais (SDT) do lodo inicial

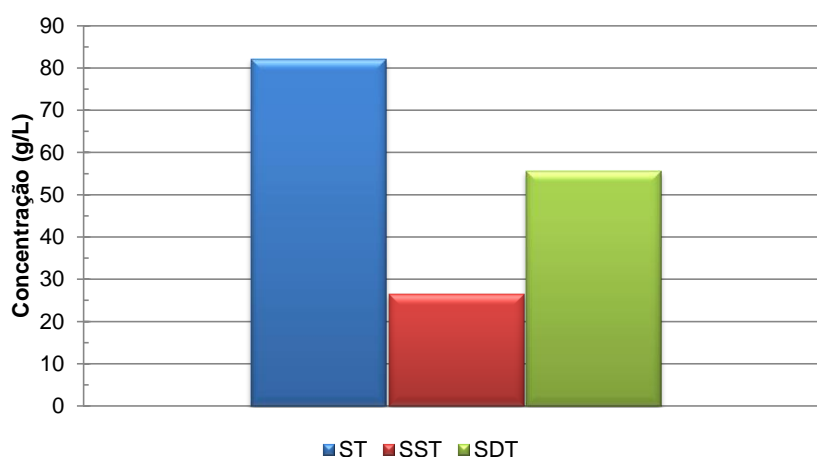


Figura 11 – Concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos dissolvidos voláteis (SDV) e sólidos dissolvidos fixos (SDF) do lodo inicial

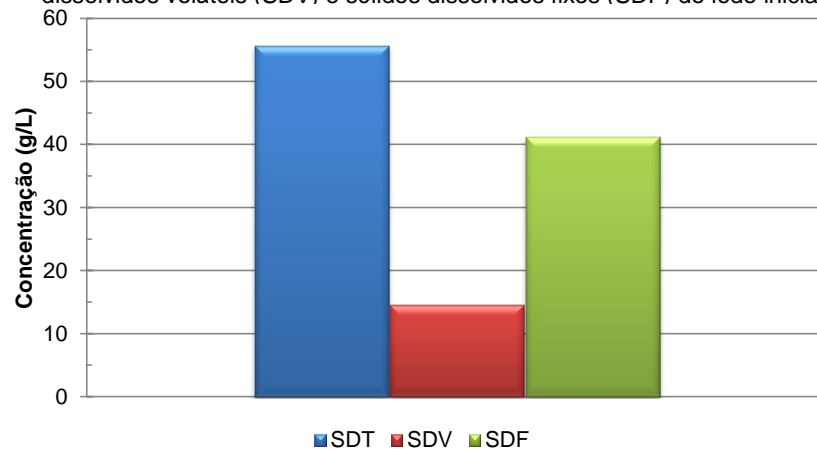


Figura 12 – Concentração de sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos dissolvidos totais (SDT) dos percolados nos tratamentos T1, T2 e T3

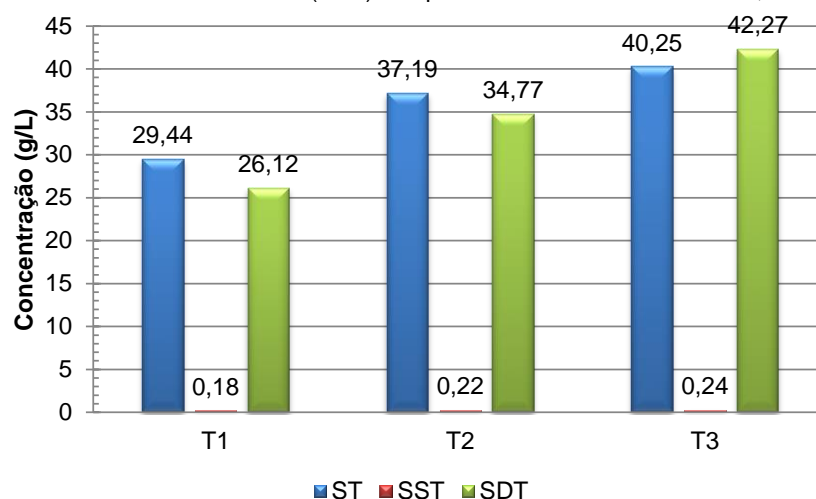
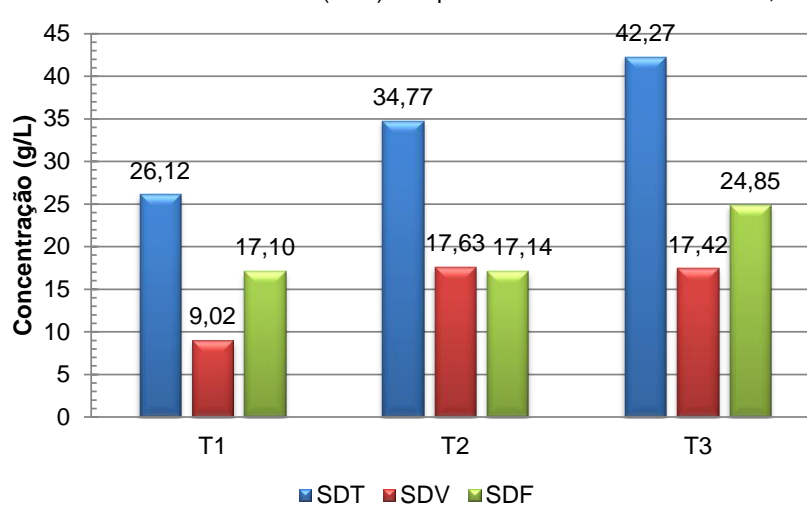


Figura 13 - Concentração de sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos dissolvidos totais (SDT) dos percolados nos tratamentos T1, T2 e T3



3.2.2 Alcalinidade e pH do percolado

A alcalinidade inicial era de 362,5 mg/L; no tratamento T100 houve uma redução desta concentração, a qual apresentou média de $227,50 \pm 96,53$ mg/L; já no tratamento T200 e T300 este valor aumentou para $530,00 \pm 99,40$ e $703,33 \pm 40,82$ mg/L respectivamente. Podemos notar que quanto maior a carga de lodo aplicada nos leitos, maior foi a alcalinidade presente no percolado, possivelmente pela solubilização de substâncias carbonatadas. Podemos perceber que o pH estava diretamente relacionado com a alcalinidade, pois quando haviam picos de alcalinidade, o pH também aumentava; e o mesmo aconteceu quando houve redução nestes valores, conforme pode ser observado nas Figura 14, Figura 15 e Figura 16.

O valor inicial de pH era de $7,13 \pm 0,10$ e o mesmo teve seu valor aumentado nos tratamentos T100, T200 e T300 ($7,57 \pm 0,60$; $7,82 \pm 0,06$ e $7,77 \pm 0,15$ respectivamente). Já para o pH a carga de lodo não interferiu no resultado, pois ambos os tratamentos tiveram valores bem semelhantes entre si. Em uma pesquisa recente Koné et al., (2007) e Stefanakis; Tsihrintzis (2012), perceberam que o valor de pH diminuiu ao final do experimento.

Figura 14- Alcalinidade e pH do percolado - T1

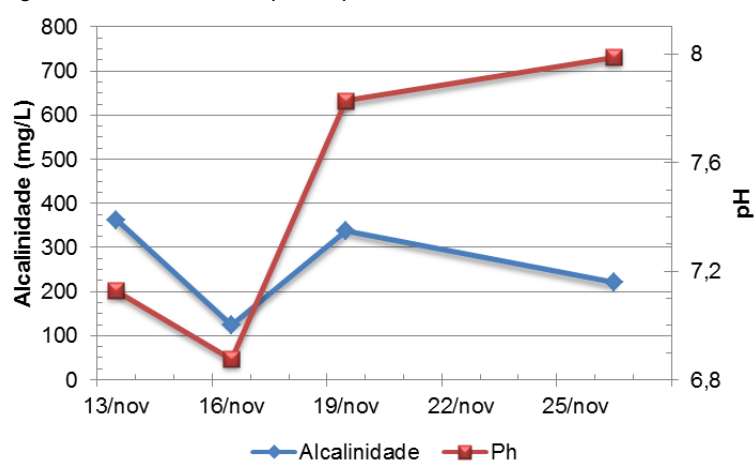


Figura 15 - Alcalinidade e pH do percolado - T2

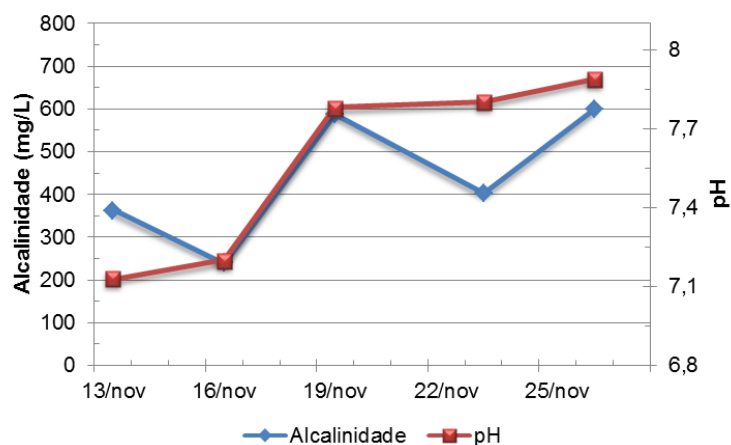
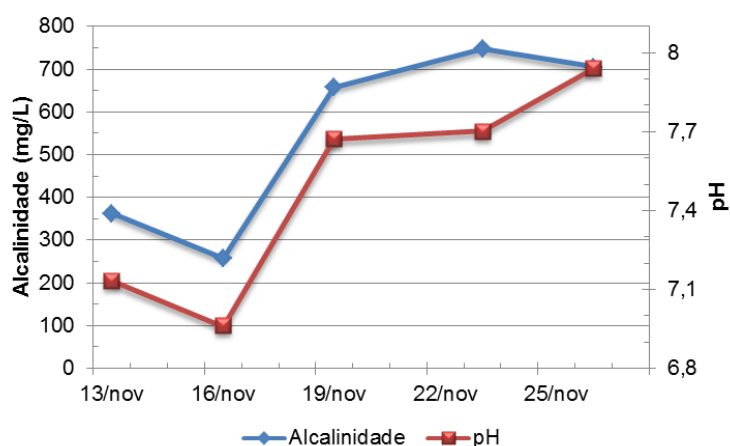


Figura 16 - Alcalinidade e pH do percolado - T3



3.2.3 Salinidade do percolado

A concentração de sal presente no lodo bruto era de $32,70 \pm 0,20$ ppt, conforme a torta de lodo foi sendo desidratada e lixiviada, a salinidade presente no percolado apresentou valores ligeiramente inferiores ao valor inicial. A salinidade média do tratamento T100 foi de $24,30 \pm 5,03$ ppt; já para T200 e T300 a concentração de sal foi bem semelhante à inicial ($32,87 \pm 1,72$ e $32,43 \pm 1,43$ ppt). Nos tratamentos T200 e T300 a salinidade do percolado foi praticamente igual a do lodo inicial; já no tratamento T100 a salinidade do percolado apresentou valores inferiores ao inicial, o que nos leva a supor que o sal pode ter ficado retido na torta de lodo ou até mesmo no interior do leito.

Figura 17 - Salinidade do percolado – T1

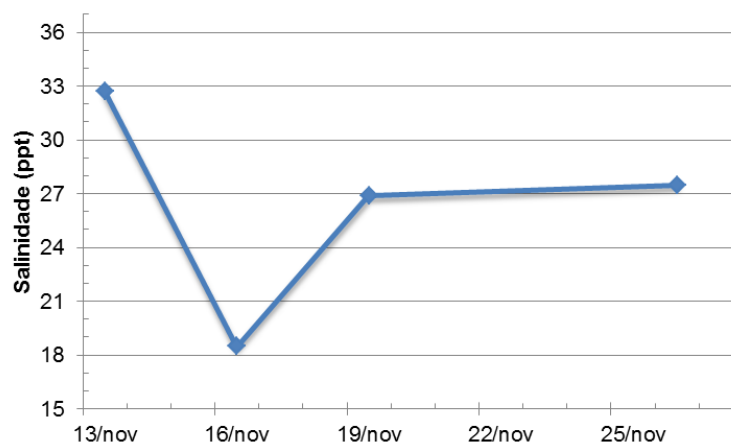


Figura 18 - Salinidade do percolado – T2

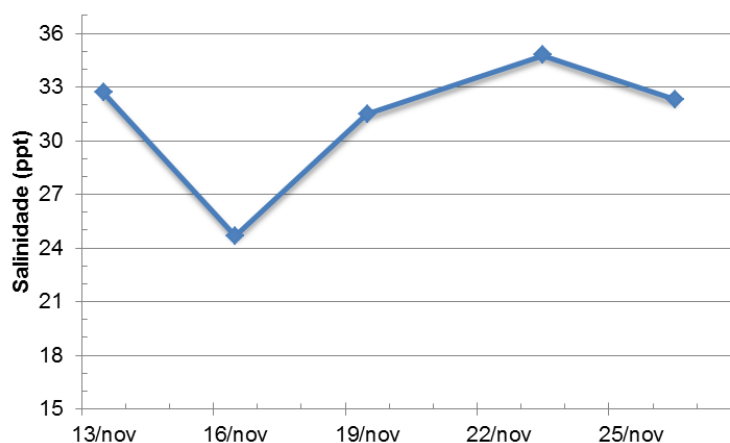
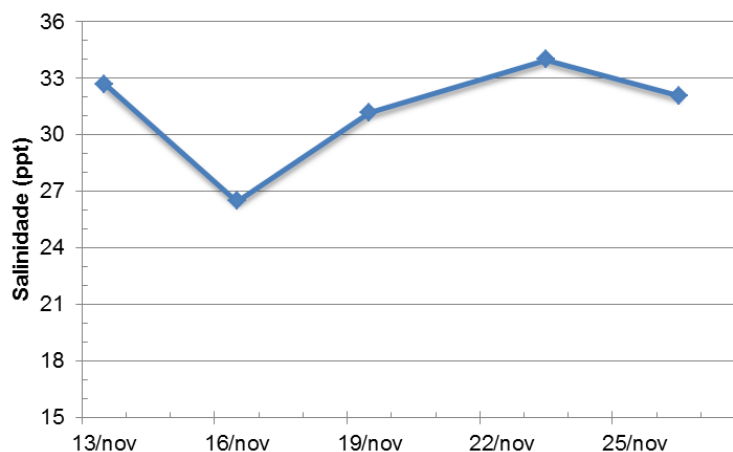


Figura 19 - Salinidade do percolado – T3



3.2.4 Amônia total, nitrito e nitrato do percolado

A concentração de amônia total no início do experimento era de $0,20 \pm 0,02$ mg/L; com o passar dos dias este valor foi aumentando em todos os tratamentos; a concentração média dos tratamentos T100, T200 e T300 apresentaram os seguintes

valores: $1,50 \pm 2,18$; $1,40 \pm 0,91$ e $0,80 \pm 0,08$ mg/L. O tratamento T300 foi o que apresentou menor concentração de amônia total; já a concentração para T100 e T200 foi bem semelhante entre eles, porém um pouco superior à T300. O mesmo não aconteceu no experimento realizado por Stefanakis; Tsihrintzis (2012), o qual constatou que os níveis de amônia total no percolado tiveram um decréscimo na concentração.

Os valores de nitrito se mostraram estáveis durante todo o experimento. A concentração inicial era de $0,30 \pm 0,02$ mg/L; em T100 a concentração média foi de $0,20 \pm 0,23$ mg/L; e foi reduzida para $0,03 \pm 0,02$ e $0,10 \pm 0,04$ mg/L em T200 e T300 respectivamente. Os tratamentos não apresentaram valores significativos de nitrito ao longo do experimento e todos os tratamentos apresentaram valores bem próximos. Esse mesmo comportamento não foi observado por Stefanakis; Tsihrintzis (2012), no experimento realizado por eles a concentração de nitrito aumentou.

O valor inicial obtido para nitrato foi de $5,10 \pm 1,47$ mg/L, o qual sofreu variações significativas ao longo do processo de desidratação; os valores médios obtidos foram de $1,67 \pm 0,51$; $5,40 \pm 5,15$ e $10,18 \pm 1,99$ mg/L para T100, T200 e T300. Analisando estes dados podemos observar que a carga de lodo aplicada influenciou diretamente na concentração de nitrato do percolado; o tratamento T100 foi o que apresentou menores concentrações, enquanto em T200 a concentração foi aproximadamente 5 vezes maior; e em T300 aumentou para 10 vezes, em relação a T100. Este aumento significativo provavelmente se deu pelo processo de nitrificação que ocorreu nos leitos. Stefanakis; Tsihrintzis (2012), também identificaram um aumento nas concentrações de nitrato no líquido percolado dos leitos. Na Figura 20, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** podemos observar estes valores:

Figura 20 - Concentração de amônia, nitrito e nitrato do percolado - T1

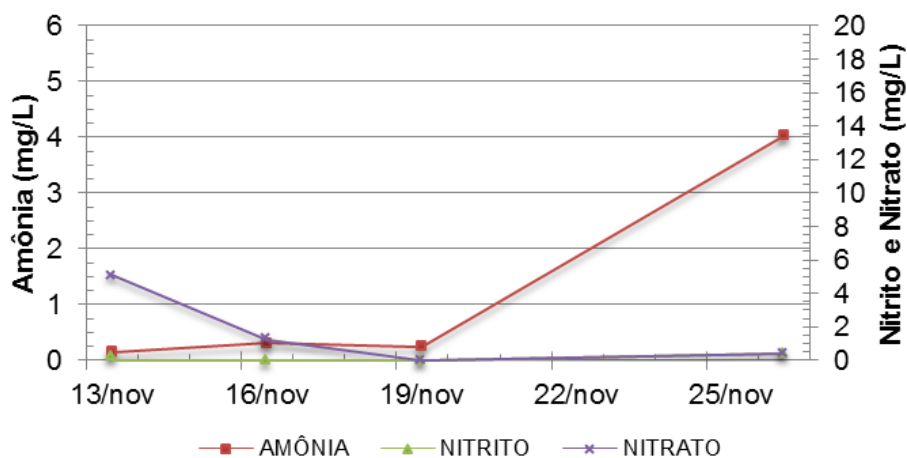


Figura 22 - Concentração de amônia, nitrito e nitrato do percolado - T2

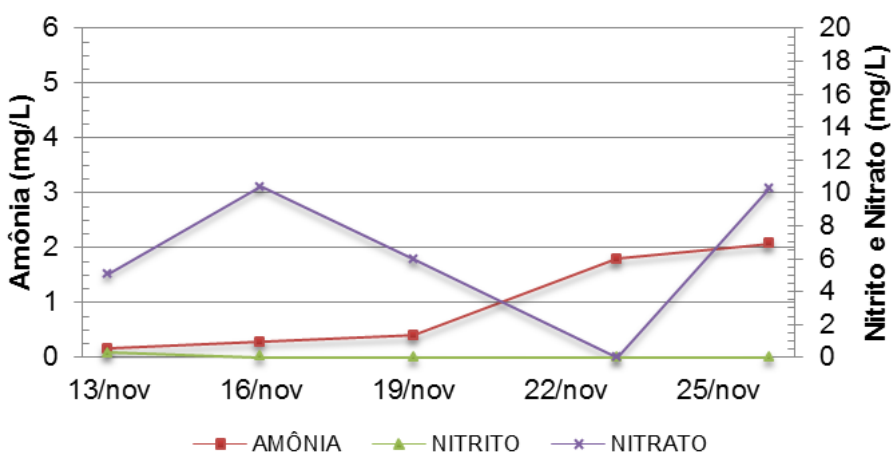
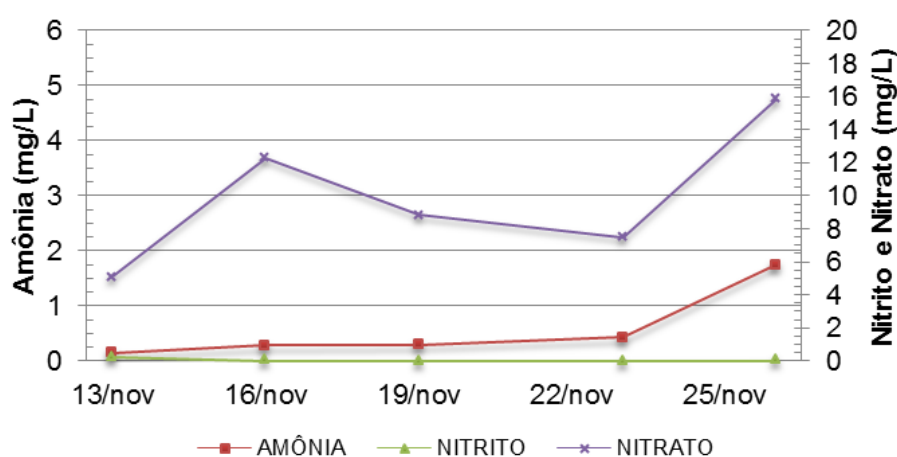


Figura 21 - Concentração de amônia, nitrito e nitrato do percolado – T3



3.2.5 Fósforo total do percolado

Ao início do experimento, o valor médio de fósforo total presente no lodo era de $96,60 \pm 3,00$ mg/L; o mesmo foi reduzido no percolado para $0,49 \pm 0,10$; $0,90 \pm 0,05$ e $2,33 \pm 0,30$ mg/L respectivamente para T100, T200 e T300. A concentração de

fósforo nos três tratamentos foram inferiores a concentração inicial; os tratamentos T100 e T200 apresentaram os menores valores, os quais foram semelhantes; já o T300 foi onde foi observado a maior concentração entre os três tratamentos. Esse mesmo comportamento de diminuição na concentração de fósforo também foi relatado por Stefanakis; Tsihrintzis (2012) e eles justificam esta diminuição pelo processo de mineralização do fósforo. Mesmo T100 sendo o tratamento que apresentou menores concentrações, podemos considerar que T200 e T300 também apresentaram significativa redução, a qual provavelmente deve ter ficado retida na torta de lodo. Abaixo seguem os valores representados na Figura 23, Figura 24 e Figura 25:

Figura 23 - Concentração de fósforo total do percolado - T1

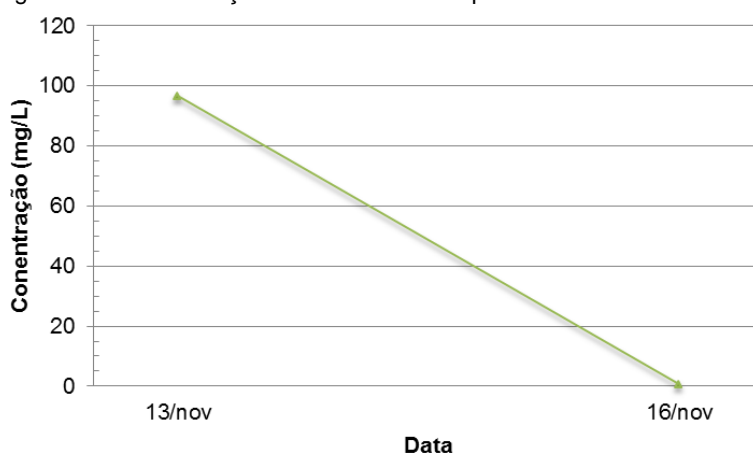


Figura 24 - Concentração de fósforo total do percolado - T2

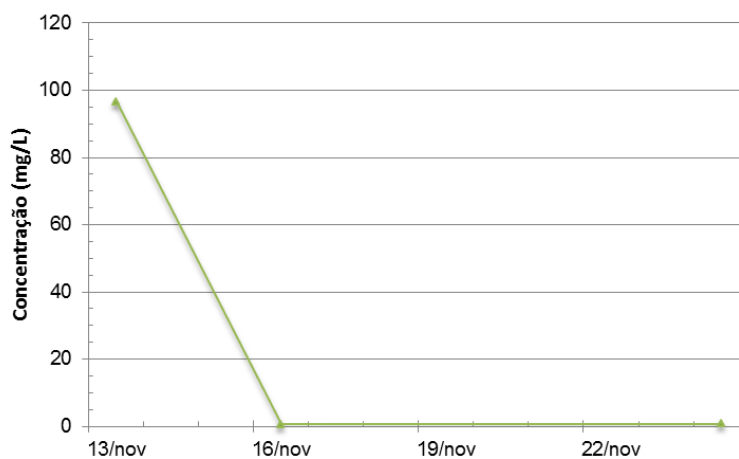
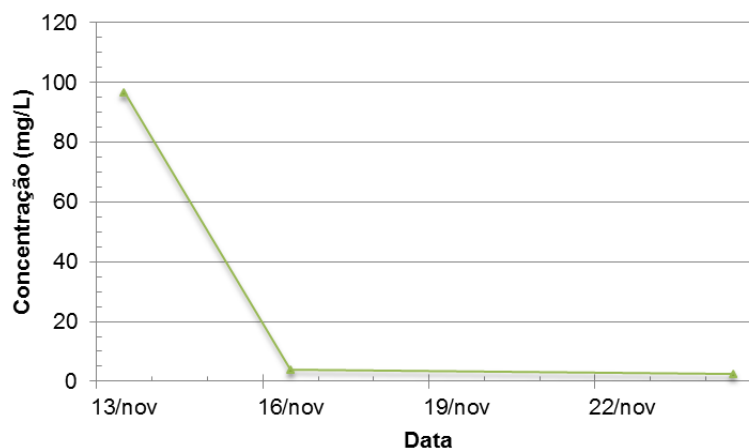


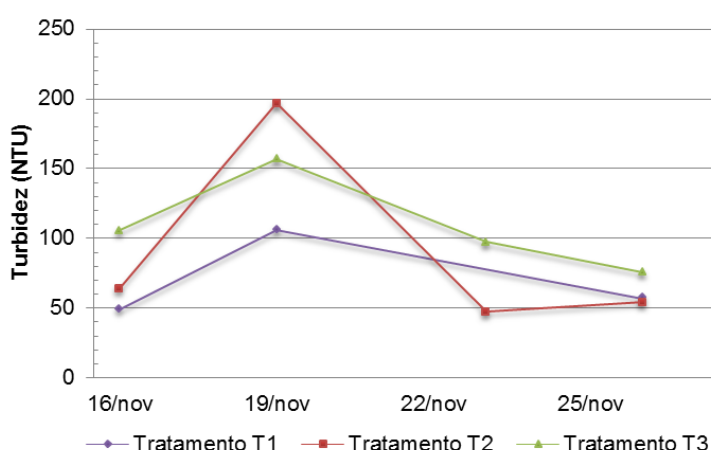
Figura 25 - Concentração de fósforo total do percolado - T3



3.2.6 Turbidez

A turbidez inicial era de 13490 ± 11 NTU; após passar pelos leitos, o percolado sofreu significativa redução da turbidez; o valor médio encontrado para o tratamento T100, T200 e T300 foi de 70 ± 30 ; 99 ± 84 e 109 ± 4 NTU respectivamente. Como podemos observar, quanto maior a carga de lodo, maior foi a turbidez, pois T100 foi o tratamento com menor turbidez e T300 teve a máxima. No entanto a eficiência de redução nos três tratamentos foi superior à 99%. Silveira et al. (2015), testaram leitos de secagem com o uso de manta geotêxtil e a turbidez foi o parâmetro utilizado para controle da eficiência; ao final deste experimento também foi relatado uma grande eficiência de remoção da turbidez da água do percolado.

Figura 26 - Turbidez dos tratamentos T1, T2 e T3



3.3 RESULTADOS DA TORTA DE LODO

A seguir serão apresentados os resultados obtidos para a torta de lodo proveniente do desaguamento do lodo do biofloco. Os resultados apresentados para

a torta de lodo estabilizada foram obtidos através da média dos valores obtidos a partir da estabilização da umidade da torta de lodo. Abaixo será apresentada a Tabela 4 com os resultados para as análises realizadas:

Tabela 4 - Resultado dos parâmetros analisados na torta de lodo

		Tratamento T1	Tratamento T2	Tratamento T3
Umidade (%)	LI	77,31 ± 6,60	77,31 ± 6,60	77,31 ± 6,60
	TE	7,69 ± 2,57	14,36 ± 2,66	13,02 ± 2,96
Altura da torta (cm)	LI	10,00 ± 0,00	20,00 ± 0,00	30,00 ± 0,00
	TE	0,70 ± 0,28	5,86 ± 1,45	6,60 ± 3,39
Salinidade (ppt)	LI	32,70 ± 0,20	32,70 ± 0,20	32,70 ± 0,20
	TE	4,12 ± 2,50	5,46 ± 1,95	5,90 ± 2,16
pH	LI	7,13 ± 0,10	7,13 ± 0,10	7,13 ± 0,10
	TE	7,97 ± 0,34	7,67 ± 0,30	7,72 ± 0,10
DBO (mg/L)	LI	1225 ± 35,34	1225 ± 35,34	1225 ± 35,34
	TE	825 ± 35,36	1875 ± 601,04	1675 ± 35,36
Obs: LI = Lodo inicial; TE = Torta de lodo estabilizada				

3.3.1 Umidade da torta de lodo

O teor de umidade inicial era de 77,31±6,60%; o tratamento T100 atingiu a estabilidade da umidade em aproximadamente 3 dias (11,46±0,79%), porém o experimento foi até o 20º dia para verificar se ocorreria uma maior desidratação. No entanto, o resultado obtido ao final desses 20 dias não se mostrou muito diferente (8,31±0,01%), havendo algumas pequenas alterações ao longo desses dias devido à interferência da chuva; a umidade média deste tratamento foi de 7,69±2,57%. O tempo de estabilidade para o tratamento T200 foi de 6 dias; nesta data o valor de umidade era de 17,60±3,05%, e ao final do 20º dia a umidade encontrada foi de 12,71±0,05%; já o valor médio obtido para este tratamento foi de 14,36±2,66%. O tratamento T300 também levou em média 6 dias para atingir a estabilidade, com 11,32±0,09% de umidade no 6º dia e 15,26±3,89% no 20º dia; e umidade média de 13,02±2,96%. O tratamento T100 se mostrou mais rápido e mais eficiente na desidratação da torta de lodo do que T200 e T300; mas até mesmo o T300 que apresentou os maiores valores, ainda sim foi inferior ao obtido por Carvalho (2014) (20% de umidade em 20 dias). A seguir serão apresentadas a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Figura 29 com os gráficos contendo os valores de umidade obtidos nos tratamentos:

Figura 28 - Umidade da torta de lodo do tratamento T1 e precipitação

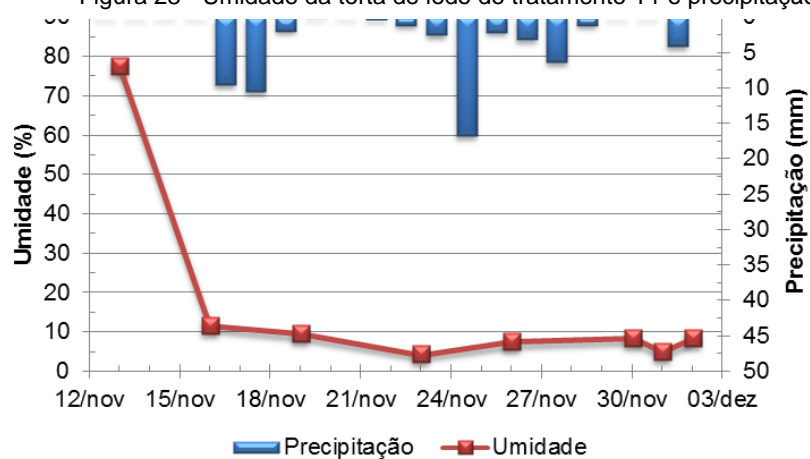


Figura 27 - Umidade da torta de lodo do tratamento T2 e precipitação

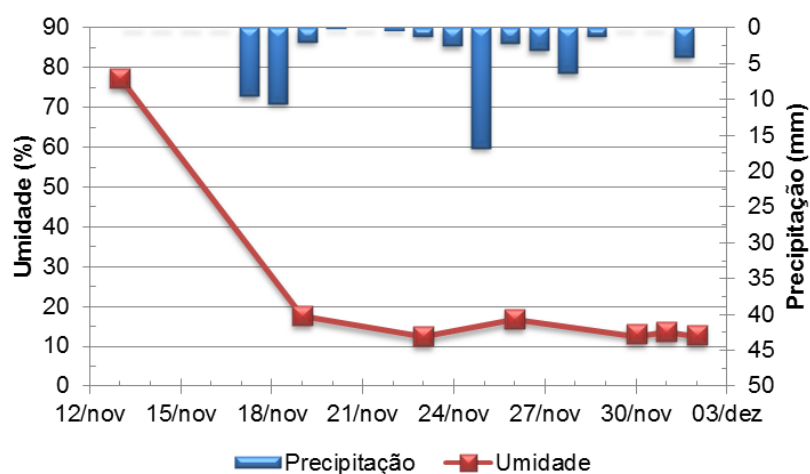


Figura 29 - Umidade da torta de lodo do tratamento T3 e precipitação

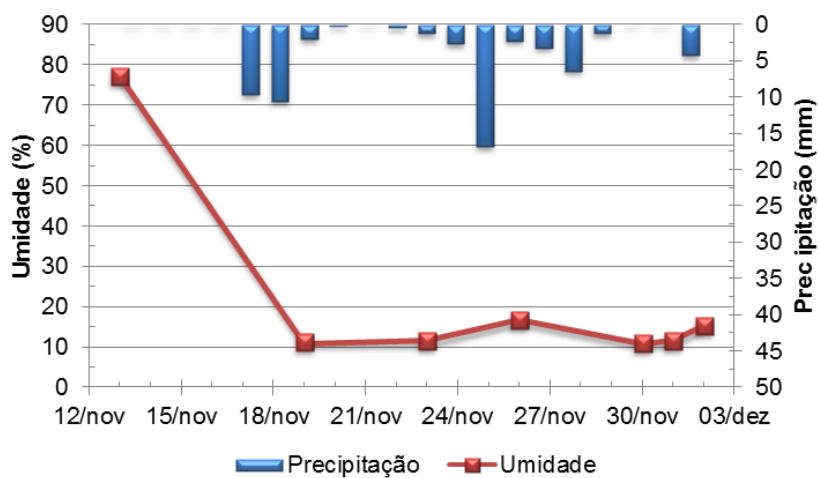


Figura 30 - (a) Lodo inicial do T100, (b) Lodo final do T100, (c) Lodo inicial do T200, (d) Lodo final do T200, (e) Lodo inicial do T300 e (f) Lodo final do T300



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

3.3.2 Redução da altura da torta de lodo

A altura inicial da torta de lodo era de 10, 20 e 30 cm para T100, T200 e T300 respectivamente; T100 atingiu a altura mínima (0,6 cm) em 8 dias, a qual se manteve constante até o 20º dia; T200 atingiu a altura de 5,75 cm no 8º dia e a mesma sofreu pequenas modificações devido a incidência da chuva, medindo 5,3 cm ao final dos 20 dias; já o tratamento T300 demorou em média 11 dias para atingir a marca de 5,5 cm de altura da torta e assim como T200 também sofreu pequena interferência, medindo 5,7 cm ao final dos 20 dias. Os valores médios de altura da torta de lodo para T100, T200 e T300 são: $0,70 \pm 0,28$; $5,86 \pm 1,45$ e $6,60 \pm 3,39$ cm. A melhor eficiência de redução da altura da torta de lodo foi no tratamento T100 (93%), já T200 e T300 reduziram aproximadamente 70,7 e 78,0% respectivamente. Mortara (2011), utilizou leitos de secagem para o desaguamento de lodos produzidos em reatores UASB e também monitorou a redução da altura da torta de lodo; a melhor eficiência de redução obtida foi de 71%; sendo que este valor está bem próximo da menor eficiência obtida no presente trabalho, o que nos mostra que os leitos de secagem utilizados para o desaguamento de lodo proveniente do cultivo de camarões em bioflocos também se mostraram eficientes para este parâmetro. Ambos os resultados serão ilustrados nas Figura 31, Figura 32 e Figura 33 a seguir:

Figura 31 - Altura da torta de lodo do tratamento T1 e precipitação

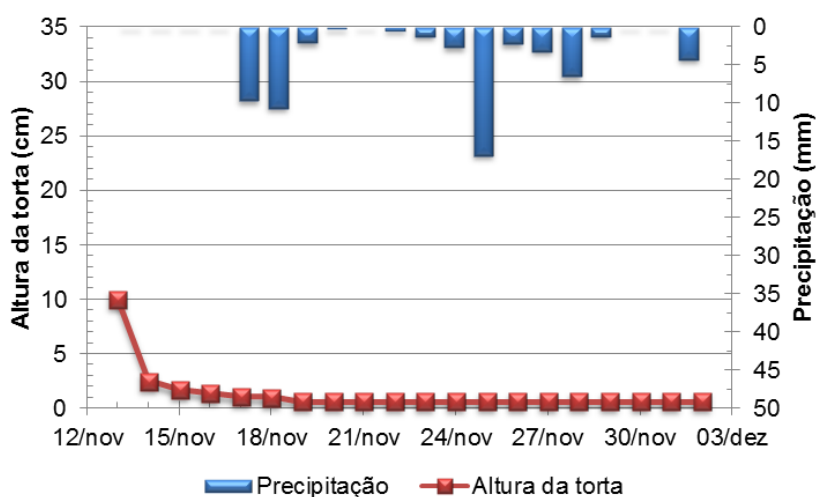


Figura 32 - Altura da torta de lodo do tratamento T2 e precipitação

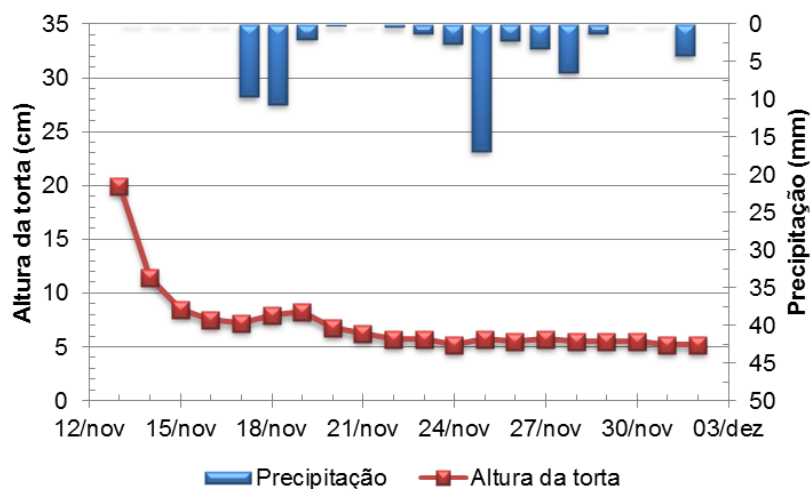
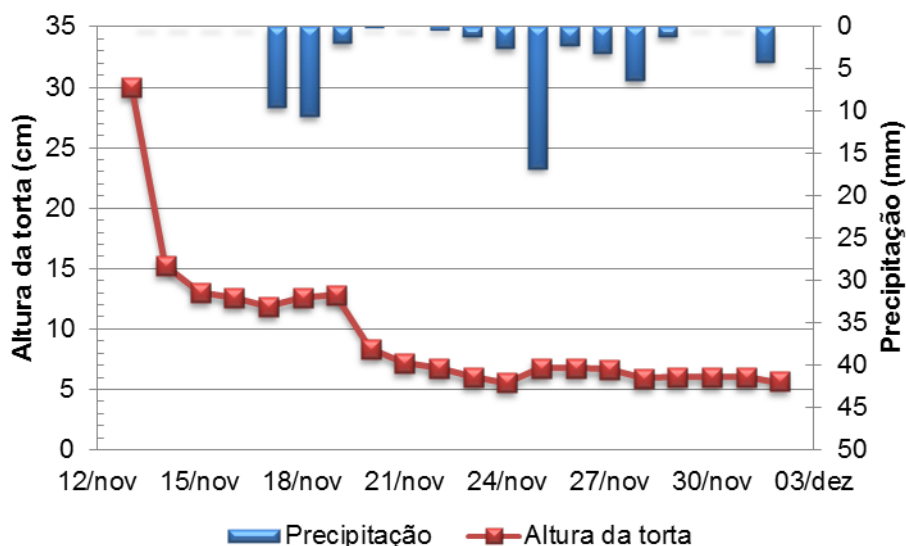


Figura 33 - Altura da torta de lodo do tratamento T3 e precipitação



3.3.3 Salinidade e pH da torta de lodo

A salinidade inicial do lodo bruto era de $32,70 \pm 0,20$ ppt; para ambos os tratamentos o valor final obtido para a torta de lodo foi inferior ao valor inicial do lodo bruto. A maior concentração de sal foi encontrada no tratamento que consistiu em aplicar uma maior carga de lodo (T300), assim como o menor valor foi obtido no tratamento T100. A salinidade média encontrada para T100, T200 e T300 foi de $4,12 \pm 2,50$; $5,46 \pm 1,95$ e $5,90 \pm 2,16$ ppt, respectivamente. Para utilizar esta torta de lodo na agricultura o tratamento T100 seria o mais viável, pois foi o tratamento que apresentou menor concentração de sal. Segundo Dufault e Korkmaz (2000), culturas

de aspargo, beterraba, abóbora, brócolis, tomate e pepino são mais tolerantes ao sal e devem ser testados o uso desta torta de lodo como fertilizante para ambos.

O potencial hidrogeniônico inicial do lodo bruto era de $7,13 \pm 0,10$; este valor foi aumentando inversamente proporcional aos tratamentos aplicados, ou seja, o tratamento T100 foi o que obteve maior valor de pH, já o tratamento T300 apresentou menor valor ao final do experimento, porém todos os valores foram superiores ao inicial. Os valores médios de pH obtidos para os tratamentos T100, T200 e T300 foram $7,97 \pm 0,34$; $7,67 \pm 0,30$ e $7,72 \pm 0,10$ respectivamente.

Figura 34 - Salinidade e pH da torta de lodo do tratamento T1

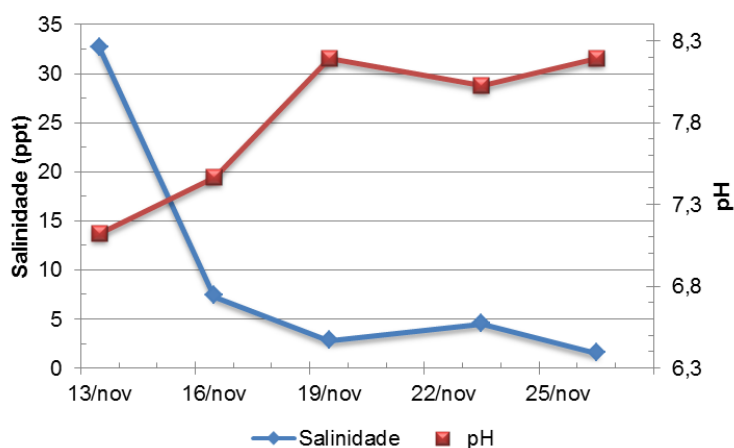


Figura 35 - Salinidade e pH da torta de lodo do tratamento T2

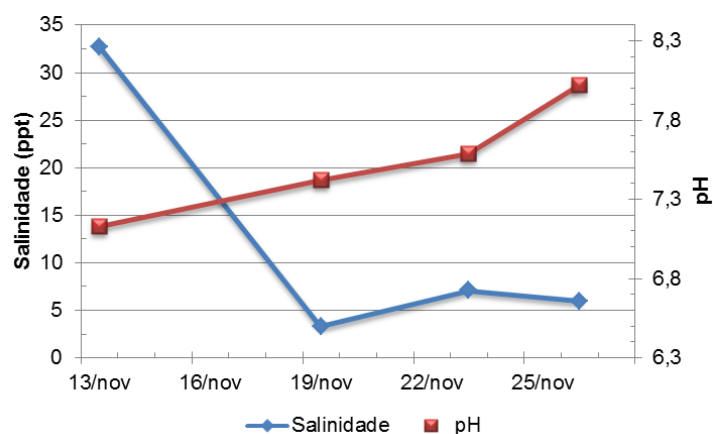
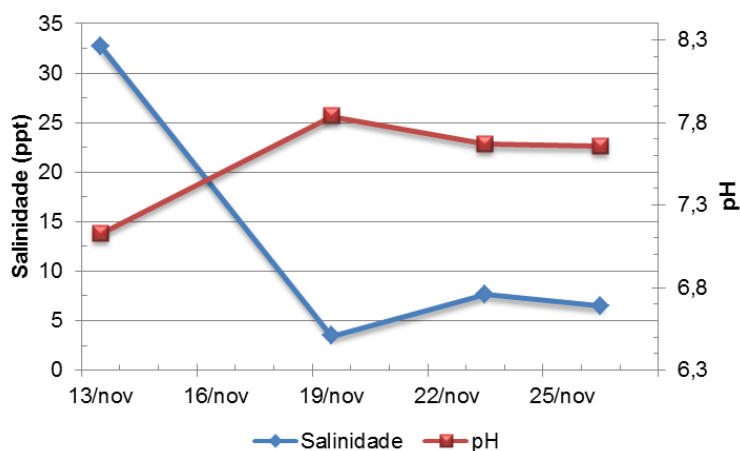


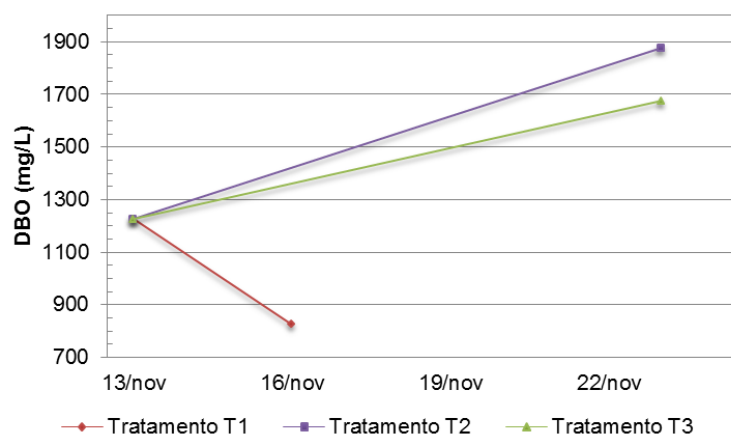
Figura 36 - Salinidade e pH da torta de lodo do tratamento T3



3.3.4 DBO_5^{20}

A DBO inicial do lodo era de $1225 \pm 35,34$ mg/L; no tratamento T100 este valor foi reduzido para $825 \pm 35,36$ mg/L e no tratamento T200 e T300 a concentração aumentou para $1875 \pm 601,04$ e $1675 \pm 35,36$ mg/L respectivamente. Portanto o tratamento T200 e T300 seriam os mais interessantes a nível de matéria orgânica para uso na agricultura.

Figura 37 - Concentração de DBO dos tratamentos T1, T2 e T3



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento T100 se mostrou mais eficiente quando comparado ao tratamento T200 e T300, para os parâmetros de ST, STF, STV, SDT, SDF, SDV, alcalinidade, salinidade, nitrato, fósforo total, turbidez, umidade redução da altura da torta, salinidade do percolado e da torta e DBO. Já o tratamento T200 foi semelhante ao

T100 em relação à STV. Enquanto o T300 foi o tratamento que apresentou a menor concentração de amônia total.

Analisando qual tratamento foi melhor em relação apenas à umidade pode-se concluir que o T100 foi o melhor, porém até o tratamento em que consistiu aplicar a maior carga de lodo (T300) apresentou valores inferiores ao descrito em outras bibliografias, o que demonstra que novos estudos podem ser testados utilizando uma carga ainda maior de lodo proveniente do cultivo de camarões marinho.

Quanto ao destino do percolado, ao avaliar se o mesmo poderia ser descartado no corpo receptor, que no caso do presente estudo seria a Lagoa da Conceição, enquadrada como águas salobras Classe II; foi realizada uma simples comparação dos parâmetros de acordo com as legislações federais vigentes: CONAMA nº 357/05 que classifica os corpos de água e estabelece condições e padrões de lançamento de efluente; e CONAMA nº 430/11 que dispõe sobre as condições de padrões de lançamentos de efluentes; e a legislação estadual vigente (LEI nº 14.675). Ao final desta análise foi possível observar que o percolado não se enquadra nos padrões estabelecidos para águas salobras Classe II para fósforo total e nitrogênio amoniacal para os 3 tratamentos; o tratamento T200 e T300 se enquadram nas concentrações de nitrito exigidas; e quanto ao pH todos os tratamentos atendem à legislação. Já o CONAMA nº 430/11 estabelece que o pH deve estar na faixa entre 5 a 9 e o nitrogênio amoniacal não deve ultrapassar a concentração de 20 mg/L N, portanto conclui-se que considerando o CONAMA nº 430 o percolado estaria apto a ser descartado no corpo receptor. A legislação estadual estabelece que para um efluente ser lançado no corpo receptor deve ser respeitado entre diversos fatores, a faixa de pH entre 6 e 9 e uma concentração máxima de 4 mg/L de fósforo total, sendo que o percolado está dentro destes valores estipulados.

Ao analisar a legislação vigente quanto ao enquadramento do percolado, foi observado que para os três tratamentos avaliados os valores de alguns parâmetros como fósforo total e nitrogênio amoniacal ultrapassaram os valores apontados como máximos para enquadramento do líquido como água salobra Classe 2. No entanto, o pH e a concentração de nitrito estão dentro dos valores permitidos na legislação para os tratamentos T200 e T300, considerando a mesma Classe de enquadramento. Portanto, conclui-se que se faz necessário o cálculo da

concentração de mistura destes parâmetros para avaliar se ao lançar este efluente no meio ambiente o mesmo causaria algum dano.

Outra possibilidade seria o reuso do percolado como inóculo de novos cultivos. Por apresentarem altas concentrações de nutrientes orgânicos, pode ser sugerido que o percolado seja utilizado como fertilizante da água dos tanques de camarões de um novo ciclo de cultivo, proporcionando dessa forma o reaproveitamento da água residuária gerada na fazenda.

A NBR 10004/04 é a norma brasileira que classifica os resíduos sólidos, porém a torta de lodo analisada neste estudo não se enquadra em nenhum dos resíduos sólidos perigosos presentes na legislação; o que significa que este resíduo sólido não apresenta nenhuma das características de periculosidade apresentadas nesta norma.

A legislação do CONAMA nº 375/06 é a legislação vigente que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto; ao fazer a comparação dos parâmetros a fim de verificar se o lodo estudado no presente trabalho poderia ser utilizado na agricultura, foi verificado que parâmetros microbiológicos devem ser avaliados para verificar se o mesmo poderia ser utilizado como um fertilizante agrícola.

Outra opção para o reaproveitamento desta torta de lodo seria incorporá-la na fabricação de produtos cerâmicos, fazendo-se assim necessária a realização de testes de estabilidade e resistência, respeitando as normas impostas pela NBR 7181/84, a qual dispõe sobre métodos para análise granulométrica de solos por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento.

5 CONCLUSÕES

Neste estudo foi possível utilizar leitos de secagem para desaguamento de lodo produzido no cultivo superintensivo de *Litopenaeus vannamei* com bioflocos sob três taxas de aplicação de lodo (100, 200 e 300 L.m⁻².d⁻¹).

Para as três taxas aplicadas a máxima eficiência de desaguamento foi obtida em 3 (três) dias com teor de umidade de 11,46±0,79%, salinidade média de 4,12±2,50 ppt para a torta de lodo e 24,30±5,03 ppt para o percolado. Esses resultados superam em aproximadamente 4 vezes os resultados típicos de umidade para lodos sanitários (50%), o que representa uma redução de volume ainda mais significativa da torta, e por consequência reduz os custos com o transporte para

destinação final; o que demonstra que essa tecnologia pode ser viável para aplicação futura em fazendas de cultivo superintensivos de camarões.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ARANTES, R. DA F. **Caracterização quali-quantitativa dos efluentes gerados no cultivo intensivo de Litopenaeus vannamei em sistema de bioflocos**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.
- CARVALHO, B. J. DE. **Adequação da tecnologia de leito de secagem para desidratação de lodo proveniente do cultivo de camarões marinhos em bioflocos**, Universidade Federal de Santa Catarina , 2014.
- CAMPOS, José Roberto. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**: Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA 357**: RESOLUÇÃO No 357, de 17 de março de 2005. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 27 p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA 375**: RESOLUÇÃO No 375 , de 29 de agosto de 2006. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 32 p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA 430**: RESOLUÇÃO No 430, de 13 de maio de 2011. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011. 9 p.
- CORDEIRO, J. S. **Remoção de água de lodos de ETAs através de filtração forçada**. In: REALI, M.A.P. (Coord.). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro: ABES, p. 107 – 124, 1999.
- DODANE, P.; RONTELTAP, M. Unplanted Drying Beds. **IWA Publishing**, p. 141–154, 2014.
- DUFAULT, R. J.; KORKMAZ, A. Potential of Biosolids from Shrimp Aquacultura as a Fertilizer in Bell Pepper Production. **Compost Science & Utilization**, v. 8, p. 310–319, 2000.
- EMERENCIANO, M. et al. Floc contribution on spawning performance of blue shrimp Litopenaeus stylirostris. **Aquaculture Research**, v. 44, n. 1, p. 75–85, 2012.

ESTADO DE SANTA CATARINA. **LEI No 14.675**: Código Estadual do Meio Ambiente. Santa Catarina: Estado de Santa Catarina, 92 p, 2009.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture**: Opportunities and challenges. Rome: 2014. 243 p.

GAONA, C. A. et al. SISTEMA DE BIOFLOCOS A IMPORTÂNCIA E MANEJO DOS SÓLIDOS SUSPENSOS. **Panorama da Aquicultura**, Rio Grande, v. 184, p 1-35, 2013.

HENDERSON J. P.; BROMAGE N. **A cost effective strategy for effluent**. Fishfarm, v. 10, 42 p, 1988.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4ª Ed. Rio de Janeiro, 932 p, 2005.

KONÉ, D. et al. Helminth eggs inactivation efficiency by faecal sludge dewatering and co-composting in tropical climates. **Water Research**, v. 41, n. 19, p. 4397–4402, 2007.

MORTARA, F. C. **Utilização de leitos de drenagem no desaguamento de lodos anaeróbios**. Universidade de São Paulo, 2011.

NIELSEN, S. Sludge drying reed beds. **Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research**, v. 48, n. 5, p. 101–9, 2003.

POERSCH, L. H. et al. Bioflocos uma alternativa para camarões saudáveis Fazenda catarinense volta a operar com sucesso em área afetada pelo vírus da mancha branca. **Panorama da Aquicultura**, v. 130, 2013.

SANTOS, A. A. dos; COSTA, S. W. da. **Síntese Informativa da Maricultura 2015**. Florianópolis: Epagri, 7 p, 2016.

SCHVEITZER, R. **Efeito dos sólidos suspensos totais na água e dos substratos artificiais sobre o cultivo superintensivo de Litopenaeus vannamei com bioflocos** *Journal of Chemical Information and Modeling*. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

SEBRAE. **Aquicultura no Brasil**: Série estudos mercadológicos. Brasília, 76 p, 2015.

SILVEIRA, C. et al. **Desaguamento do lodo de estações de tratamento de água por leito de drenagem/secagem**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 20, n. 2, p. 297–306, 2015.

STEFANAKIS, A. I.; TSIHRINTZIS, V. A. Heavy metal fate in pilot-scale sludge drying reed beds under various design and operation conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 213-214, n. 1, p. 393–405, 2012.

UGGETTI, E. et al. Technical, economic and environmental assessment of sludge treatment wetlands. **Water Research**, v. 45, n. 2, p. 573–582, 2011.

VESILIND, P.; HSU, C. Limits of sludge dewaterability. **Water Science and Technology**, v. 36, n. 11, p. 87–91, 1997.

VINCENT, J. et al. Mechanical and hydraulic properties of sludge deposit on sludge drying reed beds (SDRBs): Influence of sludge characteristics and loading rates. **Bioresource Technology**, v. 116, p. 161–169, 2012.

PROJECT, Shrimp Est Genome. **O cultivo do camarão marinho**. 2010. Disponível em: <<http://www.shrimp.ufscar.br/historico/cultivo.php>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFNG, 472 p, 2014.